



TUGAS AKHIR RC14-1501

USULAN *CLAMP* SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK

JOI FIKTORI GINTING
NRP. 3112106022

Dosen Pembimbing :

1. Prof.TAVIO, ST.MT.Ph.D
2. Dr.Ir. Hidayat soegihardjo M.,MS

JURUSAN LINTAS JALUR TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



TUGAS AKHIR RC14-1501

USULAN *CLAMP* SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK

JOI FIKTORI GINTING
NRP. 3112106022

Dosen Pembimbing :

1. Prof.Tavio, ST.MT.Ph.D
2. Dr.Ir. Hidayat soegihardjo M.,MS

JURUSAN LINTAS JALUR TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT RC14-1501

**A PROPOSED CLAMP MODEL FOR MECHANICAL
CONNECTOR OF REINFORCING STEEL BARS**

**JOI FIKTORI GINTING
NRP. 3112106022**

**Lecturer :
Prof.Tavio, ST.MT.Ph.D
Dr.Ir. Hidayat soegihardjo M.,MS**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014**

USULAN *CLAMP* SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Struktur Program Studi S-1
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

JOI FIKTORI GINTING
NRP. 3112106022

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Tavio, ST.MT.PhD
NIP. 197003271997021001

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., Ms
NIP. 195503251980031004



SURABAYA,
Januari, 2015

USULAN CLAMP SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS

TULANGAN BAJA TARIK

Abstrak

Tulangan baja telah digunakan di struktur beton selama lebih dari satu abad. Tulangan baja sangat penting untuk menahan tegangan tarik yang terjadi pada struktur beton bertulang karena kurangnya kekuatan tarik pada beton. Peraturan secara eksplisit tidak merekomendasikan ataupun melarang jenis tertentu dari suatu sambungan, seperti ACI 318M-14 atau SNI 2847: 2013, yang akan digunakan dalam sambungan tulangan baja. Sambungan jenis ini dapat menggantikan sambungan lewatan/penyaluran yang biasanya digunakan untuk penyambungan tulangan beton.

Pemikiran untuk memperkenalkan jenis sambungan mekanis berasal dari pengalaman dan praktek penggunaan panjang penyaluran/lewatan untuk memperkuat tulangan baja. Dengan hanya memperkenalkan panjang penyaluran/lewatan untuk sambungan tulangan baja, jelas bahwa kinerjanya akan lebih lemah dari batang tulangan normal (utuh), terutama dalam tegangan.

Dalam penelitian ini, diusulkan model sambungan mekanis. Jenis sambungan yang dipilih adalah sistem *clamp*. Jenis penjepit dipilih karena kemudahan untuk memproduksi dan sederhana untuk diterapkan di sudut pandang konstruksi. Untuk mengetahui kemampuan model *clamp* yang diusulkan, maka dilaksanakan pengujian tarik terhadap tulangan yang disambung. Para penulis membatasi penelitian hanya dari segi kekuatan tarik. Sifat mekanik lain tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini. Diameter tulangan baja yang disambung menggunakan sistem ini adalah D13 mm, D16 mm, dan D19 mm. Semua tulangan baja yang dijepit dengan berbagai jumlah *clamp*. Untuk D13 mm, D16 mm, dan D19 mm, masing-masing jumlah *clamp* yang digunakan adalah 1 sampai 3, 1 sampai 4, dan 1 sampai 5 *clamp*. Untuk bahan perbandingan, maka dilakukan pengujian tulangan baja yang masih utuh juga. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan tarik menggunakan penjepit *clamp* yang diuji meningkat hampir linear di setiap peningkatan jumlah *clamp*. Tegangan tarik maksimum untuk D13 mm diperoleh dari sambungan dengan menggunakan 3 *clamp*, yaitu 545,41 MPa. Adapun D16 mm dan D19 mm diameter, kekuatan tarik tertinggi seperti yang diharapkan ditemukan setinggi 571,34 Mpa dan 478,08 MPa untuk 4 dan 5 *clamp* masing-masing. Dari tes itu bisa diambil dari kurva tegangan-regangan bahwa semua diameter batang baja yang disambung dengan jumlah maksimum *clamp* telah mengalami leleh, namun belum mencapai kekuatan tarik maksimum. Hal ini juga didukung oleh hasil uji tarik tulangan baja normal (utuh) sebagai bahan perbandingan. Untuk pekerjaan kedepannya, kekuatan tarik sambungan dapat secara signifikan ditingkatkan dengan pengenalan *clamp* fabrikasi yang lebih baik dan juga dengan menggunakan kekuatan yang lebih tinggi dari baut-mur serta dengan deformasi sisi bagian dalam *clamp* untuk meningkatkan gesekan antara permukaan tulangan dan *clamp*, bukan penambahan jumlah *clamp* yang tidak perlu dan bisa tidak ekonomis.

Kata kunci: klem, putaran splices, konektor mekanik, tulangan baja, kekuatan tarik.

A PROPOSED CLAMP MODEL FOR MECHANICAL CONNECTOR OF REINFORCING STEEL BARS

Abstract

Reinforcing steel bars have been implemented in concrete structures for more than a century. The steel bars are very important to withstand the tensile stresses occurred in concrete due to the lack of concrete tensile strength. A mechanical connector is allowed by the codes, such as ACI 318M-14 or SNI 2847:2013, to be used in jointing the reinforcing bars. This type of connection may replace the normally-used lap splices for bar development.

The idea of introducing this type of connection came from the diffidence of engineers and practitioners of adopting the lap splices to develop the steel bars. By only introducing the lapped-length to splice the bars, it is obvious that its performance is weaker than the continuous bars, particularly in tension.

In the research, a mechanical connector model is proposed. The type of connector selected is clamp system. This type of clamp is chosen due to its easiness to manufacture and simple to implement in construction point of view. To know the capability of the proposed clamp model, a tensile test is conducted. The authors constrain the study only in terms of tensile strength. Other mechanical properties are not considered in this study. The diameter of the bars clamped using this system were 13, 16, and 19 mm. All bars were clamped with various number of clamps. For 13-, 16-, and 19-mm bars, the numbers of clamps used were 1 to 3, 1 to 4, and 1 to 4 clamps, respectively. For comparisons, a continuous bars of each diameter were also tested. The results indicate that the tensile strength of the tested clamps increase almost linearly with the increase of number of clamps. The maximum tensile stress of 13-mm bar was obtained from the bars with 3 clamps, i.e. 545.41 MPa. As for the 16- and 19-mm bar diameters, the highest tensile strengths as expected were found as high as 571.34 and 478.08 MPa for 4 and 5 clamps, respectively. From the test it could be drawn from the stress-strain curves that all diameters of steel bars clamped with maximum number of clamps have been tested to yielding, yet they were not reaching their tensile strengths. It is also supported by the results of the tensile test of control continuous bars as benchmarks. For future work, the tensile strength of the connection can be significantly improved by the introduction of better fabricated clamps and also by using higher strengths of bolt-nut sets as well as by deforming the inner sides of the clamps to enhance the friction between the surfaces of deformed bars and the clamps, rather than the addition of number of clamps which is unnecessary and could be uneconomical.

Keywords: clamps, lap splices, mechanical connectors, reinforcing steel bars, tensile strength.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih karunia Tuhan Yesus, sehingga Tugas Akhir ini yang berjudul “USULAN *CLAMP* SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK” dapat selesai sesuai dengan waktu yang ditentukan. Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat lulus pada Program S1 Lintas Jalur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini tidak dapat selesai tanpa bimbingan, petunjuk dan peran dari pihak lain, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Tavio, ST. MT. Ph.D dan Dr.Ir. Hidayat soegihardjo M.,MS selaku dosen pembimbing yang sudah sabar membantu, memberi saran, bimbingan serta arahan kepada penyusun dalam penyelesaian penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Cahyono Bintang Nur Cahyo, ST. M.T. selaku dosen wali, terima kasih atas nasehat dan arahnya.
3. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terimakasih atas ilmu yang diberikan.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini dari awal hingga selesai yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis dengan segala keterbatasannya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Kritik dan saran dari para pembaca serta rekan-rekan sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga saja Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan rekan-rekan yang memerlukan referensi dalam penyusunan Tugas Akhir.

Surabaya, Januari 2015

Joi Fiktori Ginting

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak Indonesia	iii
Abstrak Inggris	iv
Kata pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum	5
2.2 Sambungan Mekanis (<i>Mechanical Conection</i>)	6
2.3 Sambungan Lewatan Dan Panjang Penyaluran	19
2.4 Kombinasi Sambungan Mekanis Dengan	22
2.5 Tulangan Baja	26
2.6 Kuat Tarik Baja	27
2.7 Hubungan Regangan dan Tegangan.....	30
2.8 Modulus Elastisitas	36

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum	39
3.2 Material Penelitian	40
3.3 Waktu dan Tempat Pembuatan	41
3.4 Populasi dan Sampel	41
3.5 Pelaksanaan Penelitian	41

3.6 Pengujian Kuat Tarik	50
--------------------------------	----

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan	53
4.2 Analisa kekuatan baut menahan gaya geser	54
4.4 Pengujian Fisik Baja Tulangan	61
4.5 Pengujian Sifat Mekanis Uji Tarik Baja Tulangan ..	62
4.5 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan Yang	65
4.6 Perbandingan Panjang Penyaluran Tanpa Kait.....	78

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82

Daftar Pustaka

Lampiran I

Lampiran II

Lampiran III

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ukuran parameter <i>clamp</i>	24
Tabel 2.2. Jenis dan Kelas baja tulangan sesuai.....	27
Tabel 3.1 Ukuran dimensi baut dan ring sesuai	44
Tabel 3.2. Specifications baut.....	44
Tabel 3.3. Daftar Parameter Benda Uji.....	47
Tabel 3.4. Tabel <i>ekivalensi</i> torsi baut	49
Tabel 4.1. Ukuran parameter clamp.....	61
Tabel 4.2 Hasil pengukuran fisik baja tulangan.....	62
Tabel 4.3. Hasil uji kuat tarik baja tulangan.....	63
Tabel 4.4. Rekap hasil uji tarik baja tulangan.....	68
Tabel 4.5. Rekap hasil uji tarik baja tulangan.....	72
Tabel 4.5. Rekap hasil uji tarik baja tulangan.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Solid-type steel coupling sleeve</i>	7
Gambar 2.2. <i>Strap-type steel coupling sleeve</i>	9
Gambar 2.3. <i>Steel-filled coupling sleeve</i>	8
Gambar 2.4. <i>Wedge-locking coupling sleeve</i>	10
Gambar 2.5. <i>Steel coupling sleeve with wedge</i>	11
Gambar 2.6. <i>Bar splice double barrel</i>	12
Gambar 2.7. <i>Cold-swaged steel coupling sleeve</i>	13
Gambar 2.8. <i>Cutaway of taper-threaded steel coupler</i> ..	14
Gambar 2.9. <i>Cold-swaged steel coupling sleeves with</i> ...	16
Gambar 2.10. <i>Coupler for thread-deformed bars</i>	17
Gambar 2.11. <i>Sambungan mekanis dengan clamp</i>	24
Gambar 2.12. <i>Tensile stress dan tegangan kompresional</i> ...	30
Gambar 2.13. <i>hubungan regangan vs tegangan</i>	33
Gambar 3.1. <i>Flowchart Metodologi</i>	39
Gambar 3.2. <i>sambungan mekanis dengan bahan clamp</i> ...	42
Gambar 3.3. <i>sambungan mekanis dengan bahan clamp</i> ...	43
Gambar 3.4. <i>Bentuk Benda Uji Yang Mempunyai</i>	42
Gambar 3.5. <i>Bentuk Benda Uji Yang Mempunyai</i>	42
Gambar 3.6. <i>Alat pengencang baut</i>	47
Gambar 3.7. <i>Alat uji kuat tarik tulangan baja</i>	50

Gambar 4.1. Contoh gambar perletakan <i>clamp</i> sebagai...	54
Gambar 4.2. Baja tulangan disambung dengan <i>clamp</i> ..	66
Gambar 4.3. Hubungan tegangan maksimum dengan...	68
Gambar 4.4 . Hubungan tegangan vs regangan	69
Gambar 4.5 . Hubungan tegangan vs regangan	71
Gambar 4.6. Hubungan tegangan maksimum dengan...	72
Gambar 4.7. Hubungan tegangan vs regangan	75
Gambar 4.6. Hubungan tegangan maksimum dengan...	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Panjang baja tulangan yang ada di pasaran biasanya 12 m ditekuk menjadi 2. Struktur beton bertulang yang akan kita cor tentunya memiliki ukuran yang bervariasi sehingga panjang tulangan pun tidak bisa sama, dan penyambungan tulangan pasti diperlukan. Sambungan dalam sebuah konstruksi tidak dapat dihindari, keterbatasan ukuran panjang dari produksi baja tulangan memaksa suatu elemen struktur harus dilakukan penyambungan. Baja tulangan yang diperlukan sering kali lebih panjang dari baja tulangan yang tersedia dikarenakan terbatasnya ukuran panjang dari produksi pabrik atau penggunaan baja tulangan yang tidak utuh lagi, untuk mengatasi hal ini dilakukan penyambungan pada baja tulangan. Menurut [Lancelot,1985] penyambungan tulangan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu melalui; sambungan lewatan (*lap splice*), sambungan las (*welded splice*) dan sambungan mekanis (*mechanical connections*).

Sambungan merupakan bagian struktur yang paling penting dalam mentransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi antara komponen-komponen yang disambung (Castro,1992). Penempatan dan kekuatan sambungan perlu direncanakan dengan baik sehingga kehadirannya tidak

menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur (Nurjaman, 2000).

Sambungan memegang peranan yang penting terhadap kekuatan dan integritas dari suatu elemen struktur, kegagalan suatu struktur diharapkan tidak terjadi pada sambungannya, sehingga diperlukan detail sambungan yang baik. Sering kali proses penyambungan tulangan, kebutuhan panjang penyambungan, konfigurasi dan akurasi menjadi polemik pada pelaksanaannya.

Peraturan secara eksplisit tidak merekomendasikan ataupun melarang satu jenis tertentu dari suatu sambungan mekanis. Berawal dari hal ini memungkinkan dilakukan penelitian untuk mencari inovasi baru jenis sambungan mekanis yang kuat dan layak secara teknis, mudah pembuatan serta pemasangannya (sambungan dengan menggunakan *clamp*).

1.2 Perumusan Masalah

a. Permasalahan Umum :

Sambungan dalam sebuah konstruksi tidak dapat dihindari, keterbatasan ukuran panjang dari produksi baja tulangan memaksa suatu elemen struktur harus dilakukan penyambungan. Sambungan harus mempunyai kekuatan yang dapat menjamin integritas dari suatu elemen struktur.

b. Permasalahan khusus :

1. Selain sambungan lewatan, SNI-03-2847-2002 Pasal 14.14.3. membolehkan pemakaian sambungan mekanis penuh dan sambungan las. SNI-03-2847-2002 Pasal 14.1. juga memperkenankan untuk melakukan penyambungan dengan kombinasi keduanya (sambungan lewatan dan sambungan mekanis).
2. Didasari dari hal tersebut diatas akan dilakukan penelitian tentang jenis sambungan kombinasi antara sambungan lewatan dan sambungan mekanis, karena masih jarang sekali ditemukan penelitian tipe dari sambungan ini. Penelitian meninjau aspek teknis yaitu dari segi kekuatan terhadap beban tarik, selain itu juga ditinjau dari kemudahan didalam pembuatan dan pelaksanaannya.
3. Dengan sistem sambungan kombinasi ini, sambungan mekanis diharapkan dapat membantu pekerjaan penyambungan dilapangan semakin mudah dalam pelaksanaannya.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan *clamp* sebagai sambungan mekanis pada struktur beton bertulang.

2. Mengetahui kuat tarik dan modulus elastisitas baja tulangan dengan menggunakan sambungan *clamp*.
3. Mengetahui kuat tarik dan modulus elastisitas baja yang masih utuh.
4. Mengetahui kuat tarik baja tulangan yang disambung menggunakan *clamp* dibandingkan dengan kuat tarik baja dalam kondisi masih utuh.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Parameter baja tulangan yang disambung digunakan mutu dan diameter yang sama D13, D16, dan D19 dengan tegangan leleh baja tulangan ($f_y = 400\text{Mpa}$).
2. Bahan penyambung (*clamp*) digunakan mutu dengan tegangan leleh baja ($f_y = 400\text{MPa}$).
3. Jumlah benda uji dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan untuk setiap diameter tulang dilakukan pengujian kuat tarik masing-masing 3 benda uji, dan untuk pengujian kuat tarik tulangan baja yang disambung dengan *clamp* setiap variasinya dilakukan pengujian masing-masing 2 benda uji.

1.5 Manfaat

1. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan terhadap dunia ketekniksipilan dalam penggunaan *clamp* sebagai sambungan mekanis.
2. Sebagai ilmu pengetahuan yang mungkin dapat digunakan di dunia kerja.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Sambungan mekanis adalah rakitan lengkap dari sebuah selongsong tumpu ujung, sebuah kopler, atau sebuah selongsong kopling, dan mungkin juga bahan atau komponen-komponen tambahan untuk menyambung batang tulangan. (SNI 03-6814-2002)

Penggunaan, terdapat beberapa situasi dimana penggunaan sambungan mekanis lebih praktis dari pada sambungan lewatan, yang paling umum diantaranya adalah; jika digunakan tulang berdiameter 43 mm dan 57 mm, yang umumnya dijumpai pada kolom, pondasi rakit, serta struktur-struktur dengan tulangan berat lainnya. Sambungan mekanis tekan, pada umumnya gaya tekan disalurkan secara tumpu konsentrasi dari ujung yang satu ke ujung tulangan lainnya. Sambungan mekanis tekan dapat di deskripsikan menurut ; Konfigurasi, diameter tulangan yang dapat disambung, kapabilitas untuk menyambung batang-batang yang berbeda diameternya dan prosedur pemasangan.

Sambungan mekanis tarik tekan, terdapat sembilan tipe komersial yang di deskripsikan menurut, Konfigurasi, kapabilitas untuk menyambung batang-batang dengan diameter yang berbeda, persiapan ujung-ujung batang, posisi sambungan

mekanis, peralatan dan material untuk melaksanakan sambungan mekanis. (SNI 03-6814-2002)

2.2. Sambungan Mekanis (*Mechanical Connection*)

Berdasarkan tinjauan peraturan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2),(5)).

1. Sambungan mekanis dan sambungan las boleh digunakan.
2. Suatu sambungan mekanis penuh harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekannya sesuai dengan yang diperlukan, paling tidak sebesar 125 % kuat leleh batang yang disambung.
3. Sambungan mekanis dan sambungan las yang tidak memenuhi ketentuan 14.14.(3(2)) atau 14.14.(3(4)) hanya diperbolehkan untuk batang D16 atau yang lebih kecil dan harus sesuai dengan ketentuan 14.15(4).

Berbagai sambungan mekanis pada saat ini telah cukup banyak tersedia, baik fitur fisik, karakteristik mekanik dan prosedur instalasinya. Sambungan mekanis pada tulangan prinsipnya terdiri dari sambungan melalui mekanisme ujung-ujung (*in line mechanical*) dan sambungan melalui mekanisme lewatan (*off set mechanical*). ACI 439.3R-91 memberikan gambaran tentang sambungan mekanis dari

produsen pembuatnya. Sambungan mekanis (*mechanical connections*) terbagi dalam 3 kategori dasar yaitu:

1. Sambungan Mekanis Tegangan Tekan (*Compression only Mechanical Connections*), mekanismenya melalui pemindahan tegangan tekan dari ujung tulangan satu ke ujung tulangan lainnya yang berada dalam satu garis sumbu (konsentris). Ada beberapa jenis yang telah ada yaitu:
 - a) *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*



Gambar 2.1. *Solid-type steel coupling sleeve*
(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan ini berbentuk plat selongsong/tabung yang menyelimuti batang tulangan yang disambung mirip lengan baja dimana terdapat *flens*/sayap berlubang tempat baut pengencang, baut digunakan untuk mengunci *flens* sehingga tabung dapat menggegam/mengetatkan baja tulangan yang disambung, pengencangan baut dapat menggunakan kunci pas atau kunci inggris, panjang lengan

penghubung antara 203 mm sampai dengan 305 mm. Suatu baji khusus dapat dimasukkan ke dalam tabung untuk memungkinkan adanya penyambungan baja tulangan dengan beda ukuran diameternya. Pengaturan jarak baut dari 50 mm atau lebih disesuaikan untuk mendapatkan efisiensi.

b) *Strap-Type Steel Coupling Sleeve*



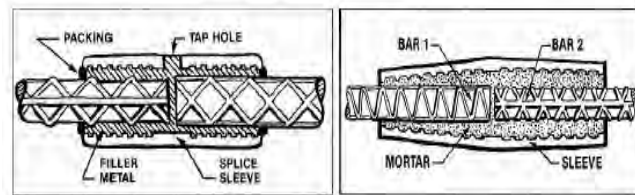
Gambar 2.2. *Strap-type steel coupling sleeve*

(Sumber : *ACI 439.3R-91*)

Sambungan ini terdiri dari kombinasi dua bagian dimana bagian pertama berbentuk setengah tabung silinder dengan *flens*/sayap di kanan-kirinya dan bagian yang lainnya adalah slot-slot disepanjang lengan penghubung, klip berbentuk L dihubungkan dengan memasukkan ke salah satu lengan sayap tabung sedangkan sayap lainnya dihubungkan dengan baut pengencang, panjang lengan sambungan ini bervariasi sekurang kurangnya 305 mm atau lebih untuk batang

tulangan #18. Suatu baji khusus dapat ditempatkan pada 13 lengan penghubung yang memungkinkan untuk menghubungkan ukuran batang baja tulangan yang berbeda.

c) *Steel-Filled Coupling Sleeve*



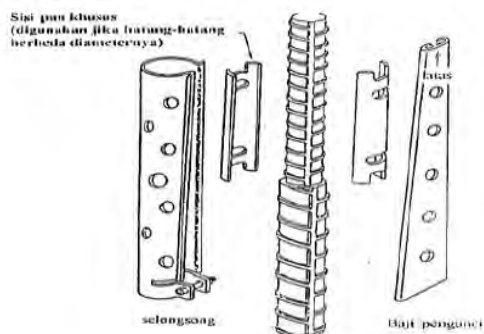
Gambar 2.3. *Steel-filled coupling sleeve*

(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan mekanis ini berbentuk tabung logam penuh dimana terdapat suatu keran/lubang sebagai tempat pengisian, adapun jenis material pengisinya adalah logam cair atau mortar. Material pengisi ditekan melalui lubang pengisi dengan tekanan, material pengisi akan mengalir diantara batang baja tulangan dan tabung sepanjang lengan sambungan membentuk *interlocking* mekanik. Panjang lengan sambungan ini adalah 7 inch untuk diameter baja tulangan #18. Sambungan ini dapat mengembangkan kekuatannya 125% dari tegangan leleh baja tulangannya. Tidak ada persiapan khusus untuk sambungan ini hanya ujung baja tulangan harus bersih

dan kering, untuk sistem pracetak tidak memerlukan bekisting. Namun kelemahan dari sambungan ini adalah tidak dapat mengontrol kualitas dan kuantitas dari isian secara visual, tidak tahan panas, *buckling*, memakan waktu 2 – 4 jam untuk membentuknya.

d) *Wedge-Locking Coupling Sleeve*



Gambar 2.4. *Wedge-locking coupling sleeve*

(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan berbentuk selongsong/tabung dengan *flens*/sayap-sayap dikedua sisinya namun sepanjang lengannya berbeda ukuran diameternya ujung satu dengan lainnya mengerucut. Digunakan untuk menyambung dua batang baja tulangan dengan beda ukuran diameternya. Cara kerjanya dengan jepitan secara lateral melalui mekanisme pengencangan baut dan adanya baji yang dimasukkan ke dalam tabung untuk memperoleh pengetatan yang diinginkan,

pengetatannya dilakukan dengan mendorong memakai palu biasa. Panjang lengan untuk sambungan ini bervariasi antara 140 mm sampai dengan 305 mm.

2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik (*Tension only Mechanical Connections*) Sambungan tipe ini digunakan dalam kondisi dimana tulangan hanya mengalami tegangan tarik seperti tulangan lentur, tulangan muai-susut. Jenis yang telah ada yaitu:

- a) *Steel Coupling Sleeve with Wedge*



Gambar 2.5. *Steel coupling sleeve with wedge*

(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan mekanis ini terdiri dari lengan penghubung berpenampang oval dan baji berbentuk *pin*, baji disisipkan melalui lubang yang telah ada dibadan bagian atas dari lengan penghubung dengan menekan diantara baja tulangan yang disambung, mekanisme pengetatannya melalui baji yang dimasukkan ke alat khusus pengencang hidrolis digerakkan menekan lengan

penghubung dengan demikian lengan penghubung akan mengikat baja tulangan yang disambung secara *overlapping*. Sambungan ini dapat digunakan untuk ukuran baja tulangan berdiameter #3 - #7, hanya satu baji yang digunakan dengan ukuran #4, #5 dan #6. Sambungan ini sederhana dalam penggunaan dengan dibutuhkan sedikit *training* dalam pelaksanaannya, tidak tergantung cuaca dan tidak membutuhkan waktu yang lama dalam instalasinya.

b) *Bar Splice Double Barrel*



Gambar 2.6. *Bar splice double barrel*

(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan mekanis ini terdiri dari lengan penghubung dan beberapa sekrup untuk mekanisme pengetatannya. Prosedur instalasinya adalah baja tulangan yang disambung dimasukkan kedalam selongsong lengan penghubung seperti pada Gambar 2.6. dengan posisi *overlapping* pada baja tulangannya, lalu

sekrup dikencangkan menekan baja tulangan sampai nilai kekuatan pengencangan yang ditentukan. Kekuatan dari pengencangan sekrup ini menyebabkan baja tulangan dan selongsong lengan penghubung terjadi *interlocking* sehingga akan terjadi proses transfer tegangan antar batang baja tulangan yang disambung. Aplikasi dari sambungan ini dapat digunakan untuk *retrofit*, dapat menjadi *hoop* pada baja tulangan, digunakan pada *deck*/geladak jembatan, kolom/pilar beton bertulang. Selain itu sambungan ini dapat mengembangkan 125% dari tegangan leleh dari baja tulangan yang disambung, dapat digunakan untuk menyambung diameter baja tulangan yang berbeda.

3. Gabungan dari Tegangan Tarik-Tekan (*Tension Compression Mechanical Connections*).

Adapun jenis yang telah ada yaitu :

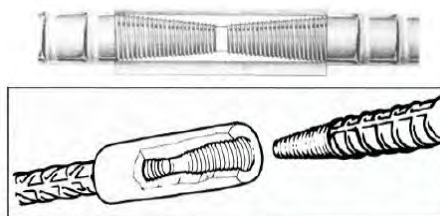
a) *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve*



Gambar 2.7. *Cold-swaged steel coupling sleeve*
(Sumber : ACI 439.3R-91)

Sambungan lengan penghubung ini terdiri dari tabung pipa baja yang disisipkan diantara dua ujung baja tulangan yang disambung untuk menghasilkan sambungan mekanis. Batang tulangan dengan ukuran #3 - #18 dapat digunakan dengan sambungan mekanis ini baik dengan diameter yang sama atau berbeda. Untuk instalasi dilapangan digunakan *hydraulic press* untuk merubah bentuk lengan penghubung kedalam rangkaian batang baja tulangan. Tidak ada persiapan khusus dari akhiran batang tulangan, ujung batang dapat di potong dengan gergaji atau dengan lidah api, namun pemeriksaan akhir tetap diperlukan. Untuk jarak 18 batang tulangan yang sangat dekat perlu mendapat perhatian terhadap akses dari peralatan *hydraulic press*.

b) *Taper-Threaded Steel Coupler*

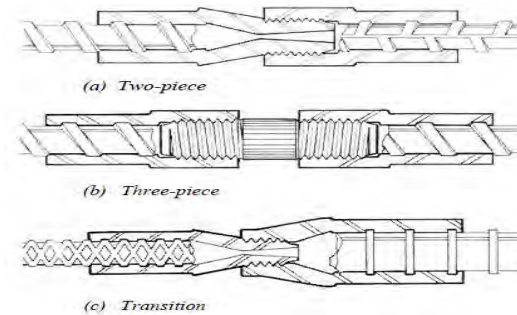


Gambar 2.8. *Cutaway of taper-threaded steel coupler*

(Refrensi : ACI 439.3R-91)

Baja penghubung *Taper-Threaded* memiliki ulir internal meruncing, sambungan ini harus mencocokkan ulir yang meruncing pada ujung batang baja tulangan. Ulir meruncing dimaksudkan mengeliminir kemungkinan kerusakan atau kemacetan ulir sebelum ulir mencapai keterikatan penuh. Batang baja tulangan dapat disambungkan secara mekanis dalam posisi apapun. Instalasi dilakukan dengan mengatur ulir sambungan pada batang tulangan dan mengepaskan pada batang tulangan yang cocok ke sambungan. Sebuah kunci pipa digunakan untuk memutar sambungan, dan kunci pas torsi digunakan untuk memverifikasi kekencangannya. Untuk batang tulangan dengan #14 dan #18, torsi minimum adalah 200 ft-lb (270 Nm). Mengacu pada ulir yang meruncing, sekitar 4-5 putaran telah cukup diperlukan untuk mengencangkan sambungan mekanis.

c) *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeves with Threaded Ends Acting as A Coupler*



Gambar 2.9. *Cold-swaged steel coupling sleeves with threaded ends acting as a coupler*
 (Sumber : ACI 439.3R-91)

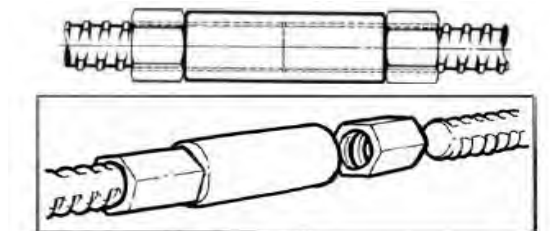
Jenis sambungan berbentuk selongsong terdiri dari dua bagian, yaitu bagian selongsong ulir luar dan bagian ulir dalam (sambungan laki-bini/baut-mur). Penghubung bini memiliki ulir yang belum dipotong pada satu bagian, penghubung berbentuk laki memiliki suatu galur untuk mengepaskan Gambar 2.9.(a). Ujung batang dilakukan pemotongan, gergaji atau dilas. Penghubung berubah bentuk ke dalam batangan untuk menghasilkan penyambungan mekanik.

Untuk penginstalnya dilakukan dengan penekanan (compression) pada tiap bagian lengan penghubung. Puncak bagian yang runcing pada kepala

ulir pada penghubung laki membantu untuk meluruskan ulir sebelum dilakukan pemutaran. Tidak ada peralatan khusus untuk pengerjaan ini. karena ulir dipotong pada lengan penghubung dan bukan pada batang baja tulangan yang disambung, jadi area penampang batang tulangan tidak dikurangi.

Tipe lain dari sambungan jenis ini terdiri dari dua ujung baja ulir bini dan laki saling berhubungan dengan sekrup berulir pada dua sisinya, sekrup ini digunakan karena batang baja tulangan tidak dapat diputar untuk mengikat ulir, Gambar 2.9.(b). Baja tulangan yang disambung memiliki ukuran #3 sampai #18, termasuk ukuran transisi/berbeda, Gambar 2.9.(c) dapat dilakukan peyambungan.

d) *Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing*



Gambar 2.10 .*Coupler for thread-deformed bars reinforcing (Sumber : ACI 439.3R-91)*

Batang baja tulangan yang disambungkan secara mekanis dapat menggunakan salah satu dari dua metode ini:

1. dalam instalasi dimana salah satu dari dua batang dapat diputar, lengan penghubung bergerak pada ujung dari dua batang yang berlawanan, dan dua batang diperketat terhadap satu sama lain. Untuk sambungan mekanis yang bekerja di daerah tekan, ujung batang harus tegak lurus .
2. dalam instalasi dimana tidak satu pun dari batang yang disambungkan dapat diputar, lengan penghubung bergerak di ujung dari dua batang yang berlawanan.

Perakitan komponen sambungan mekanis dilakukan dengan tenaga putaran/ torsi, alat yang digunakan adalah kunci pas torsi hidrolik . Nilai torsi berkisar 150 - 750 ft-lb (203 - 1016 Nm) untuk #6 sampai #11, dan 1500 dan 3000 ft-lb (2032 dan 4065 Nm) untuk #14 dan #18. Nilai torsi yang dibutuhkan mungkin kurang, tergantung pada kebutuhan proyek tertentu. Batang baja tulangan dengan ukuran yang berbeda dapat disambung dengan sambungan jenis ini. Batang baja tulangan harus memiliki jarak bersih $1,5 \times$ diameter batang baja

tulangan yang disambung untuk memberikan ruang untuk proses pengetatan

2.3. Sambungan Lewatan Dan Panjang Penyaluran

Dalam balok beton bertulang yang menahan lentur terjadi pasangan gaya tekan internal dan gaya internal tarik. Gaya internal tekan ditahan oleh beton dan gaya internal tarik ditahan oleh batang baja tulangan tarik. Gaya tarik dalam batang tulangan besarnya bervariasi dalam memanjang balok sesuai dengan variasi diagram momennya. Pada potongan balok diagram momen lentur besar, gaya tarik pada tulangan besar dan pada potongan badan balok dengan momen kecil, gaya tarik pada tulangan juga kecil. Variasi gaya-gaya pada batang tulangan dapat terjadi karena antara batang tulangan dan beton yang membungkusnya terjadi perlawanan yang berupa tegangan lekat, tahanan friksi dan tahanan tumpu pada ulir tulangan.

Batang tulangan yang tertanam lurus dalam beton tanpa kait jika pada ujung yang tidak tertanam ditarik sampai dengan kekuatan maksimumnya yaitu sampai dengan kekuatan lelehnya, tegangan pada ujung batang yang tertanam akan tetap sama dengan nol. Dan jika panjang bagian batang yang tertanam tidak cukup panjang, batang besi tulangan akan tercabut keluar. Panjang terpendek batang tulangan lurus yang tertanam dalam beton yang ditarik, dimana tegangan dalam batang bervariasi

mulai dari nol sampai maksimumnya yaitu kekuatan leleh, disebut panjang penyaluran. Panjang penyaluran bergantung pada diameter batang, kuat leleh batang, lokasi batang di dalam beton, lapisan pada permukaan batang besi, kuat leleh besi, kuat tekan beton, dan jenis berat beton. Lokasi pemberhentian dan sambungan batang tulangan dalam balok beton harus dipertimbangkan dengan panjang penyaluran. Pemberhentian batang tulangan terhadap titik pada tulangan bertegangan tarik maksimum harus berjarak sekurang-kurangnya sama dengan panjang penyaluran tarik.

Panjang penyaluran tekan, lebih pendek daripada panjang penyaluran tarik karena sebagian gaya tekan pada batang tulangan dipindahkan ke beton dengan gaya tumpu pada ujung batang, dan pada daerah tekan tidak terjadi retak, sehingga tegangan lekat keluar-masuk seperti pada batang tulangan tarik tidak terjadi. Panjang penyaluran batang tekan berbanding lurus dengan diameter dan tegangan leleh batang berbanding terbalik dengan akar kuat tekan beton. ACI 318 pasal 12.3 membatasi panjang penyaluran tekan tidak kurang dari 200 mm atau $0.0003 \cdot d_b \cdot f_y$ mana yang lebih panjang.

Sambungan lewatan dilakukan untuk elemen struktur yang panjang dan menerus sehingga tulangan yang dipasang memerlukan penyambungan, sambungan lewatan adalah jenis sambungan yang paling umum dilakukan dalam pelaksanaan di

lapangan. Sambungan lewatan berdasarkan SNI-03-2847-2002 Pasal 14.15 Sambungan lewatan untuk kondisi tarik, dibagi 2 kelas yaitu : sambungan kelas A dan sambungan kelas B.

- a) sambungan kelas A : $L_s \text{ min} = 1,0 L_d$ dan tidak kurang dari 300 mm.
- b) sambungan kelas B : $L_s \text{ min} = 1,3 L_d$ dan tidak kurang dari 300 mm

Sambungan kelas A diperbolehkan apabila dipenuhi seluruhnya dari dua kondisi berikut ini :

1. luas tulangan terpasang tidak kurang dari 2 kali luas tulangan perlu dalam analisis pada keseluruhan panjang sambungan. Misalkan, pada daerah sambungan diperlukan tulangan untuk menahan momen (pada umumnya tulangan tarik) adalah sebanyak 3 buah tulangan dan yang masih terpasang atau diteruskan di dalam daerah penampang tersebut min. 6 tulangan, maka dapat dinyatakan memenuhi satu syarat ini.
2. paling banyak 50% dari jumlah tulangan yang disambung dalam daerah panjang lewatan perlu. Misalkan :
 - apabila dalam satu penampang pada posisi daerah yang akan disambung ada 6 buah tulangan dan yang disambung hanya maksimal 3 tulangan sedangkan yang minimal 3 sisanya menerus (sambungan untuk 3 tulangan yang lain di luar daerah sambungan lewatan

perlu 3 tulangan yang disambung) maka dapat dinyatakan memenuhi satu syarat ini.

- sambungan yang ditempatkan berselang seling dapat dianggap di luar daerah panjang lewatan perlu jika ditempatkan pada jarak antara sambungan yang tidak segaris.

Apabila tidak dipenuhi dua kondisi tersebut maka harus dimasukkan sebagai sambungan kelas B.

2.4. Kombinasi Sambungan Mekanis Dengan Panjang Lewatan

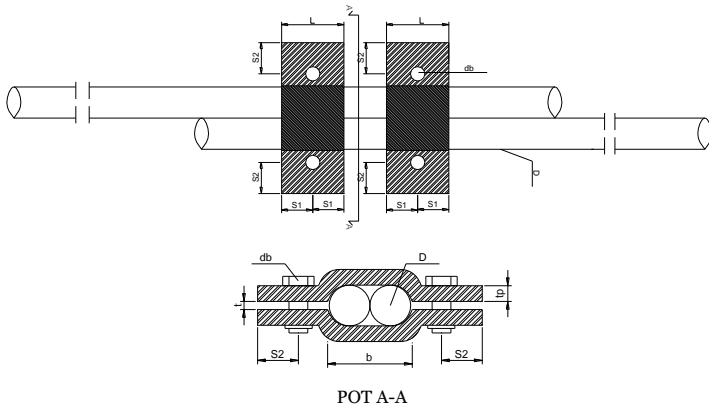
Awal terpikirnya inovasi ini bermula saat melihat kejadian dilapangan sebagian besar kelenturan panjang penyaluran tarik tidak dapat dipenuhi seperti pada pemberhentian tulangan pada sekitar ujung balok atau disekitar lokasi beban-beban terpusat. Penyelesaian masalah biasanya dengan mengganti batang-batang tulangan yang lebih kecil atau dengan menggunakan kait pada ujung-ujung batang tulangan sebagai penjangkaran, namun hal ini belum teruji secara laboaratorim sehingga kekuatannya masih diragukan.

Pada sambungan lewatan, gaya dalam batang tulangan dipindahkan kepada beton yang segera memindahkan ke batang tulangan lain yang berdekatan. Gaya yang dipindahkan dari

batang tulangan kedalam beton menyebabkan tekanan keluar secara radial kepada beton yang dapat retak belah menurut arah memanjang tulangan, yang merupakan keruntuhan sambungan. Retak sambungan ini biasanya diawali dari ujung sambungan dimana retak belah lebih besar daripada di tengah sambungan. Retak melintang terjadi pada pemberhentian tulangan pada ujung sambungan. Dari peristiwa yang telah banyak terjadi keruntuhan akibat sambungan maka timbul inovasi untuk melakukan penelitian tentang sambungan mekanis dengan menggunakan bahan *clamp*.

Dalam penelitian ini akan dibahas kombinasi sambungan mekanis dengan panjang lewatan. Sambungan mekanis yang akan digunakan berupa *clamp* yang akan digunakan untuk menyambung baja tulangan beton. Dalam penelitian ini penyambungan akan digunakan variasi dengan membedakan jumlah *clamp* dengan diameter tulangan yang sama, serta panjang lewatan akan di sesuaikan dengan jumlah *clamp* yang digunakan.

Ukuran rencana parameter *clamp* yang ingin digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1. Adapun contoh kombinasi sambungan mekanis dengan panjang lewatan yang akan di uji dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Sambungan mekanis dengan *connector clamp*

Tabel 2.1. Ukuran parameter *clamp* dan tulangan baja
(sumber : Hasil analisis)

NO	D. TUL	Panjang clamp (L)	tebal clamp (tp)	kuat leleh clamp (fy)	kuat leleh tul (fy)	D. baut (db)	t	t1	Jarak baut (mm)	
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	mm	mm	mm	s1	s2
1	13	30	5	400	400	8	2.6	5.2	15	15
2	16	30	5	400	400	10	3.2	6.4	15	20
3	19	40	5	400	400	12	3.8	7.6	20	25

cototan:
 1. Nilai t diasumsikan 20% dari diameter baja tulangan yang akan disambung
 2. spasi antar *clamp* diasumsikan 5 cm

Sedangkan untuk nilai parameter lainnya akan ditentukan dengan rumus – rumus berikut :

1. Kapasitas baja tulangan menerima gaya tarik dapat ditentukan dengan rumus ;

$$P = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot f_y \quad (2.1)$$

2. Kekuatan geser baut ditentukan berdasarkan SNI 03-1729-2002, yaitu ;

- a. Kuat geser nomina baut (V_n)

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times T_b \quad (2.2)$$

- b. Kuat rencana

$$V_d = \Phi f \times V_n \quad (2.3)$$

3. Kekuatan baut memikul beban tarik

$$T_d = \Phi f_t \times A_b \quad (2.4)$$

4. Dan nilai jarak baut dari as ke as, dengan jarak baut ketepi pelat ditentukan berdasarkan SNI 03-1729-2002, bab 13.4. yaitu :

- $3 \text{ db} \leq S \leq 15 \text{ tp}$ atau 200 mm
- $1,5 \text{ db} \leq S_1 \leq (4 \text{ tp} + 100)$ atau 200 mm
- $1,5 \text{ db} \leq S_2 \leq 12 \text{ tp}$ atau 150 mm (untuk tepi dipotong dengan mesin)
- $1,75 \text{ db} \leq S_2 \leq 12 \text{ tp}$ atau 150 mm (untuk tepi diotong dengan tangan)
- $1,25 \text{ db} \leq S_2 \leq 12 \text{ tp}$ atau 150 mm (untuk tepi bukan hasil potongan.

Keterangan:

D = diameter tulangan	tp = tebal pelat
T = Panjang lewatan	m = jumlah bidang geser
b = Lebar dalam clamp	$\phi_f = 0,75$
S = Jarak antar baut	μ = koefisien gesek
L = Panjang clamp	Tb = Proof load
db = diameter baut	

2.5. Tulangan Baja

Baja tulangan adalah merupakan bahan yang sangat penting dalam konstruksi, terutama pada konstruksi beton bertulang tidak dapat dihindari mengingat baja tulangan merupakan salah satu faktor penentu dalam kuat atau tidaknya konstruksi. Sifat fisik batang tulangan baja yang penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s).

Tegangan leleh baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar sesuai SII 0136-84. Tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan, tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya.

Modulus elastisitas baja ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan – regangan di daerah elastis. Ketentuan SNI 03-2846-2002 menetapkan nilai $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.

Di Indonesia, produksi baja tulangan telah diatur sesuai dengan SII 0136-80 untuk lebih jelasnya dapat dilihat di Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Jenis dan Kelas baja tulangan sesuai SII 0136-80
(sumber : SII 0136-80)

Jenis	Kelas	Simbol	Batas Ulur Minimum (N/mm ²)	Kuat Tarik Minimum (N/mm ²)
Polos	1.	BJTP 24	235	382
	2.	BJTP 30	294	480
Deform	1.	BJTD 24	235	382
	2.	BJTD 30	294	480
	3.	BJTD 35	343	490
	4.	BJTD 40	392	559
	5.	BJTD 50	490	618

2.6. Kuat Tarik Baja

Kekuatan tarik (*tensile strength, ultimate tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh

atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*).

Kekuatan tarik pada baja akan naik seiring dengan naiknya kadar karbon dan paduan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik :

1. Kadar karbon

Penambahan kadar karbon akan meningkatkan kekerasan suatu bahan. Hal ini menyebabkan kekuatan bahan juga meningkat, namun pertambahan hanya sampai $\pm 1 \%$

2. *Heat treatment*

Heat treatment berpengaruh pada bentuk butiran. Bila bentuk butiran kecil maka daya tarik antar atom semakin besar sehingga kekuatan tarik menjadi besar, sedangkan butiran besar daya tarik antar atom semakin kecil sehingga kekuatan tarik menjadi kecil.

3. Bidang slip

Logam dan paduannya berdeformasi dengan geseran plastis/slip atom bergeser terhadap bidang atom didekatnya.

4. Kesamaan partikel logam

Suatu bahan atau material akan terpengaruh terhadap gaya ikatan antar atomnya. Untuk material dengan tingkat homogenitas yang tinggi maka gaya ikat antar atom juga tinggi sehingga kekuatan tariknya juga tinggi.

5. Kecepatan pendinginan

Semakin cepat pendinginan yang dilakukan maka kekerasan akan meningkat begitu pula dengan kekuatan tariknya juga kecil.

6. Konduktifitas fermal bahan

Konduktifitas fermal yang kecil akan memperlambat laju pendinginan sehingga kekerasanbaja kecil begitu juga dengan kuat tariknya juga kecil.

7. Unsur paduan

Adanya unsur paduan yang pada umumnya dapat bersenyawa dengan baja atau bahan seperti, nikel, chornium dan mangan dapat meningkatkan kekuatan tarik karena unsur paduan tersebut memiliki sifat keras.

8. Ukuran butiran

Ukuran butiran yang besar bersifat decutive dibandingkan dengan halus. Ukuran butiran yang halus memiliki sifat yang keras sehingga kekutan tarik besar.

9. Dimensi bahan

Pada dimensi bahan yang kecil kecepatan pendinginnya lebih besar jadi kekerasan besar dan kekuatan tarik besar.

Kuat tarik baja tulangan didapat dari rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

$$A = 0,7854 \times D^2 \quad (2.6)$$

Dengan:

D : Diameter tulangan

F : kuat tarik (MPa)

P : gaya tarik (N)

A : luas tampang (mm²).

2.7. Hubungan Tegangan Dan Regangan

a. Tegangan

Jika sebuah benda elastis ditarik oleh suatu gaya, benda tersebut akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu sebanding dengan gaya tersebut, yang berarti ada sejumlah gaya yang bekerja pada setiap satuan panjang benda. Gaya yang bekerja sebanding dengan panjang benda dan berbanding terbalik dengan luas penampang. Besarnya gaya yang bekerja dibagi dengan luas penampang didefinisikan sebagai tegangan (*stress*).

$$\text{tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas penampang}} \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \quad (2.7)$$

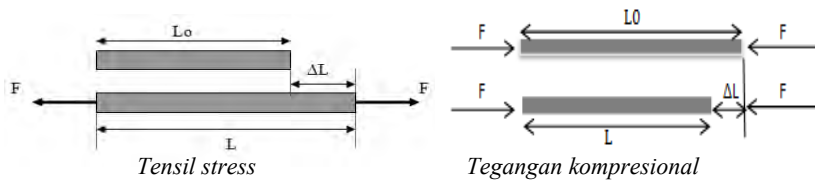
Dimana :

σ : *tegangan*

P : *gaya longitudinal (aksial)*

A : *luas*

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang pada benda, maka disebut *Tensil stress*. Sebaliknya, jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda, maka disebut *tegangan kompresional*.



Gambar 2.12. *Tensil stress* dan tegangan kompresional

Keterangan :

L_0 : panjang mula – mula atau panjang awal

L : Panjang akhir

ΔL : Pertambahan panjang

F : Gaya aksial

Adapun beberapa jenis-jenis tegangan adalah :

1. Tegangan Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N,

sedangkan luas penampang dalam m^2 , maka satuan tegangan adalah N/m^2 atau $dyne/cm^2$.

2. Tegangan Tarik

Tegangan tarik pada umumnya terjadi pada rantai, tali, baja tulangan, dan lain-lain. Baja tulangan yang diberi beban akan mengalami tegangan tarik yang besarnya tergantung pada beratnya.

3. Tegangan Tekan

Tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Misalnya, terjadi pada tiang bangunan yang belum mengalami tekukan, porok sepeda, dan batang torak.

4. Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Misalnya: sambungan keling, gunting, dan sambungan baut.

Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil, maka pelengkungan benda diabaikan.

b. Regangan

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L_0) regangan dinotasikan dengan ε dan tidak mempunyai satuan.

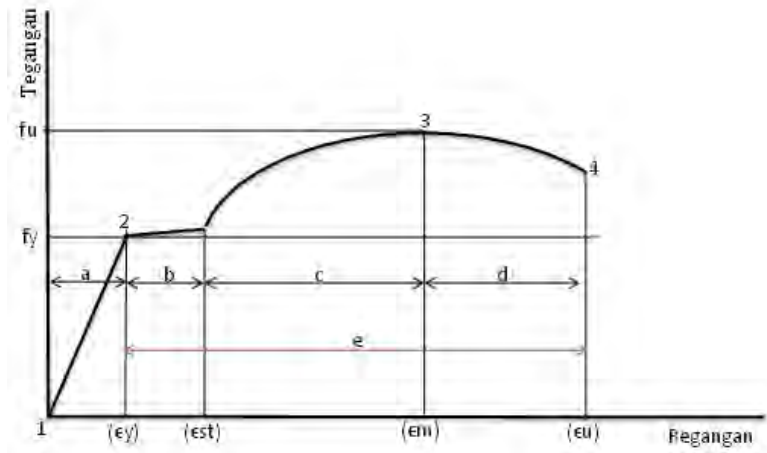
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.8)$$

Dimana:

ΔL : perubahan panjang (perpanjangan)

L_0 : panjang awal (panjang semula)

Adapun diagram hubungan regangan tegangan dapat dilihat seperti Gambar 2.13.



Gambar 2.13. hubungan regangan vs tegangan

Dari Gambar 2.13 dapat di uraikan bahwa kurva hubungan tegangan vs regangan memiliki sifat-sifat tertentu. Adapun sifat-

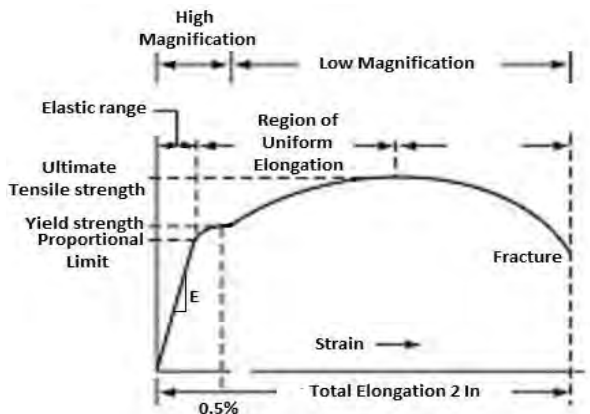
sifat dari kurva tegangan vs regangan menurut Gambar 2.13. adalah,

1. Titik awal (titik 1) adalah Pada kondisi awal dimana beban bekerja, perpanjangan (*deformasi*) akan hilang jika beban dihilangkan. Tapi jika beban terus ditingkatkan sehingga tegangan terus bertambah, maka pada suatu titik atau batas tertentu, perpanjangannya tidak bisa hilang seluruhnya dan akan terjadi regangan permanen.
2. Titik leleh (titik 2) adalah titik dimana mulai terjadi perpanjangan (*deformasi*) secara permanen.
3. Titik ultimate (titik 3) adalah Titik saat *deformasi*_nya sudah mencapai batas atau disebut titik ultimate. Dimana saat titik ini tercapai, *deformasi* benda sudah mencapai puncaknya (tinggal menunggu saat untuk putus / runtuh saja), tidak ada kenaikan tegangan yang berarti tapi *deformasi* (regangan) yang terjadi terus bertambah, ini ditunjukkan dengan garis kurva yang turun setelah titik batas tercapai (lihat gambar 2.13), sehingga sampai suatu titik dimana *deformasi* (regangan) sudah mencapai putus (runtuhnya).
4. Daerah *elastis* (a) adalah Pada kondisi daerah *elastis* apabila diberikan gaya akan terjadi *deformasi* setelah gaya dilepaskan maka benda akan kembali ke bentuk semula.

5. Daerah *plastis* (b) adalah *deformasi* atau perubahan bentuk yang terjadi secara permanen, walaupun beban yang bekerja ditiadakan.
6. Daerah *strain hardening* (c) adalah daerah yang ditandai dengan peningkatan tegangan dan regangan setelah melewati batas plastis. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah.
7. Daerah *necking* (d) adalah dimana jika beban ditambah sampai melewati batas tegangan ultimate, maka baja akan mengalami kegagalan struktural yang ditandai dengan penurunan tegangan dan regangan yang terus bertambah sampai benda uji putus.
8. Daerah *inelastis* (e) adalah Saat titik leleh tercapai, maka hubungan tegangan-regangan sudah tidak linear lagi, perpanjangan (*deformasi*) dari benda sudah tidak elastis lagi, tapi sudah ***plastis*** atau ***inelastis***, jadi sedikit saja tegangannya dinaikan, maka perpanjangan (*deformasi*) akan menjadi berkali-kali lipat jika dibandingkan saat *deformasi*_nya masih *elastis*. Dan seandainya tegangan terus

ditambah, maka pada suatu titik tertentu perpanjangan (*deformasi*) akan mencapai batasnya.

2.8. Modulus Elastisitas



Gambar 2.14. hubungan regangan vs tegangan

Modulus elastisitas (E) sering disebut sebagai Modulus Young yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis, sehingga modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban (SNI 2826-2008). Modulus Elastisitas adalah sebuah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Semakin kecil modulus elastisitas sebuah benda, maka akan semakin mudah bagi

bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. begitu pula sebaliknya, Semakin besar modulus elastisitas sebuah benda, maka akan semakin sulit bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Ketika diberi gaya tarik, besi tulangan akan meregang, dan mengakibatkan pertambahan panjang. Besarnya pertambahan yang terjadi pada setiap keadaan tergantung pada elastisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja padanya, semakin elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk memanjang atau memendek. Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda itu, sehingga pemanjangan atau pemendekan dari benda tersebut akan semakin besar. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa gaya tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan. Dari sini bisa disimpulkan bahwasanya regangan (ϵ) yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan berbanding terbalik terhadap ke elastisitasannya. Ini dinyatakan dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ atau } \sigma = E \times \epsilon \quad (2.9)$$

Rumus ini dikenal sebagai hukum Hooke. Dimana nilai E adalah parameter modulus elastisitas.

$$\text{Modulus elastisitas} = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} \text{ atau } E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.10)$$

Bila nilai E semakin kecil, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

jika kita menguraikan rumus tegangan dan regangan didapat persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{P \times L_0}{A \times \Delta L} \quad (2.11)$$

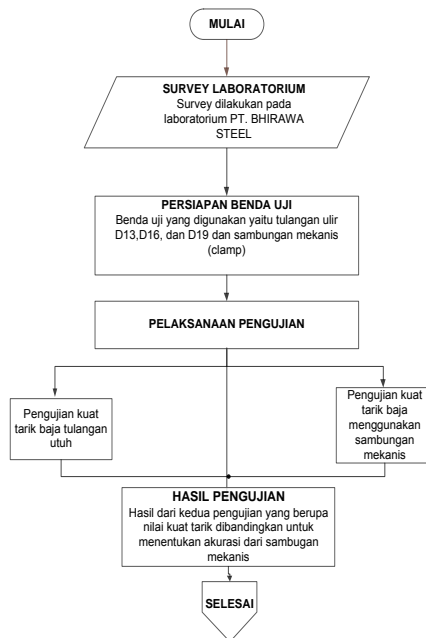
Dalam SI, satuan Modulus elastisitas sama dengan satuan tegangan (N/m²), karena pembagian tegangan dengan regangan tidak menimbulkan pengurangan satuan (regangan tidak memiliki satuan).

BAB III

METODOLOGI

3.1. Umum

Metodologi ini akan menguraikan dan menjelaskan pelaksanaan penyelesaian tugas akhir secara rinci. Adapun langkah-langkah dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, digambarkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Flowchart* Metodologi Pengerjaan Tugas

Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Sebagai penelitian ilmiah, maka penelitian ini harus dilaksanakan dalam sistematika dan urutan yang jelas dan teratur sehingga nantinya diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, dilakukan studi literatur, seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

3.2. Material Penelitian

Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah pelat baja yang di bentuk menjadi *clamp* dengan (f_y 400 MPa).
2. Ketebalan pelat 5 mm.
3. Besi tulangan ulir D13, D16, dan D19 dengan (f_y 400 MPa).
4. Penelitian ini mengacu pada standart SNI-07-2052-2002 dan ASTM A706

3.3. Waktu dan Tempat Pembuatan

1. Proses pembuatan sambungan mekanis (*clamp*) dilakukan di daerah sepanjang sidoarjo.
2. Pengujian kuat tarik dilakukan di laboratorium PT.BHIRAWA STEEL

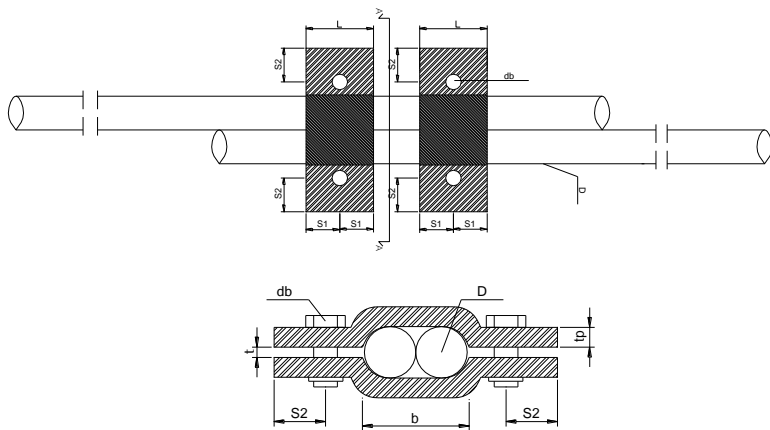
3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Persiapan Bahan

a. Pelat baja yang dibentuk menjadi *clamp*

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah plat baja yang memiliki f_y 400 MPa dan dibentuk menjadi *clamp* dengan ukuran tebal 5 mm. Yang nantinya akan dibentuk menjadi *connector* untuk menyambung tulangan ulir D13 mm, D16 mm, dan D19 mm yang memiliki f_y 400 MPa.

Adapun contoh sambungan mekanis yang akan di uji dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



POT A-A

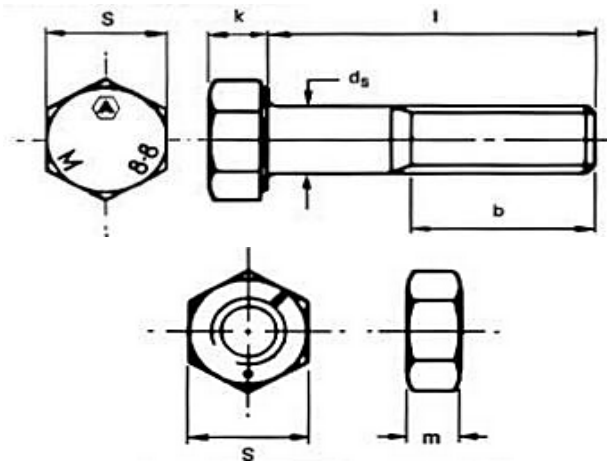
Gambar 3.2. sambungan mekanis dengan bahan *clamp*

b. Baut, Mur Dan Ring

1. Baut (*bolt*) dan Mur (*nut*)

Baut yang digunakan dalam penelitian ini berupa baut mutu tinggi (*High Strength Bolt*) , dalam pelaksanaanya baut yang digunakan dengan baut *Grade 8.8* ini sering disamakan dengan baut *ASTM A325* karena memiliki kekuatan leleh (*yield strength*) yang hampir sama. Baut kekuatan tinggi dikencangkan untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (*clamping force*) pada sambungan. Oleh karena itu beban kerja sesungguhnya dipikul oleh gaya gesekan antara pelat atau batang yang disambung. Gaya ini disebut *Proof Load*.

kekuatan baut didapat dari gesekan (*friction*) yang terjadi antara pelat atau batang yang disambung. Baut tipe ini sering dikenal dengan istilah *slip-critical connections*, yaitu baut yang mengandalkan kekuatan slip antara permukaan batang yang disambung. Agar baut tipe ini bekerja, maka diperlukan suatu alat yang dapat mengencangkan baut atau memberikan momen torsi pada baut sedemikian hingga baut mengalami prategang tarik.



Gambar 3.3 Dimesi baut dan ring *grade 8.8*

Adapun keterangan dari Gambar 3.3. dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dan *specifications* baut dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.1 Ukuran dimensi baut dan ring sesuai dengan diameter baut *grade 8.8* (Sumber : *Relevant Australian Standarrds, Bolts and set screws AS 1110, Nuts 112*)

Nominal Dia D	Pitch of Thread	Shank Diameter d_s		Width Across Flats S		Head Thickness k		Nut Thickness m	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
M6	1.0	6.0	5.82	10.0	9.78	4.15	3.85	5.20	4.90
M8	1.25	8.0	7.78	13.0	12.73	5.45	5.15	6.80	6.44
M10	1.5	10.0	9.78	16.0	15.73	6.58	6.22	8.40	8.04
M12	1.75	12.0	11.73	18.0	17.73	7.68	7.32	10.80	10.37
M16	2.0	16.0	15.73	24.0	23.67	10.18	9.82	14.80	14.10
M20	2.5	20.0	19.67	30.0	29.67	12.72	12.28	18.00	16.90
M24	3.0	24.0	23.67	36.0	35.38	15.22	14.78	21.50	20.20

Tabel 3.2. *Specifications* baut (Sumber: *Common metric bolts per ISO 898*)

Common Metric Bolts per ISO 898								
Threads	Class 5.8 Loads (N)		Class 8.8 Loads (N)		Class 10.9 Loads (N)		Class 12.9 Loads (N)	
	Proof	Clamp	Proof	Clamp	Proof	Clamp	Proof	Clamp
M3	1,910	1,430	2,920	2,190	4,180	3,140	4,880	3,660
M3.5	2,580	1,940	3,940	2,960	5,630	4,220	6,580	4,940
M4	3,340	2,500	5,100	3,850	7,290	5,450	8,520	6,400
M5	5,400	4,050	8,230	6,150	11,800	8,850	13,800	10,350
M6	7,640	5,750	11,600	8,700	16,700	12,550	19,500	14,650
M8 X 1	14,900	11,200	22,700	17,000	32,500	24,400	38,000	28,500
M8 X 1.25	13,900	10,400	21,200	15,900	30,400	22,800	35,500	26,600
M10 X 1	24,500	18,400	37,400	28,100	53,500	40,100	62,700	47,000
M10 X 1.25	23,300	17,500	35,500	26,600	50,800	38,100	59,400	44,600
M10 X 1.5	22,000	16,500	33,700	25,300	48,100	36,100	56,300	42,200
M12 X 1.25	35,000	26,300	53,400	40,100	76,400	57,300	89,300	67,000
M12 X 1.5	33,500	25,100	51,100	38,300	73,100	54,800	85,500	64,100
M12 X 1.75	32,000	24,000	48,900	36,700	70,000	52,500	81,800	61,400

2. Ring

Ring pada pemasangan baut-mur berfungsi agar bila mur dikencangkan dengan keras tidak mudah dol.

Keuntungan sambungan menggunakan baut antara lain :

1. Lebih mudah dalam pemasangan/penyetelan konstruksi di lapangan.
2. Konstruksi sambungan dapat dibongkar-pasang.
3. Dapat dipakai untuk menyambung dengan jumlah tebal baja > 4d .

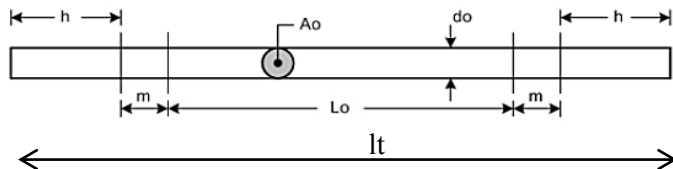
c. Baja Tulangan

Baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet

dengan cara canai panas (*hot rolling*), (SNI-07-2052-2002).

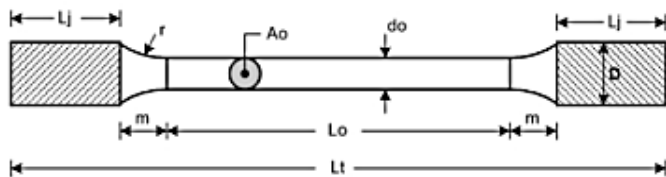
Adapun bentuk benda uji dan dimensi adalah :

1. jika diameter contoh ≤ 15 mm sehingga gaya tarik maksimum lebih kecil dari kapasitas mesin tarik, maka benda uji dibuat dengan bentuk dan dimensi seperti tercantum pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bentuk Benda Uji Yang Mempunyai Diameter ≤ 15 mm (sumber : SNI 07-2529-1991)

2. jika diameter contoh ≤ 15 mm sehingga gaya tarik maksimum melebihi kapasitas mesin tarik, maka bentuk dan dimensi benda uji dibuat seperti 3.5.



Gambar 3.5 Bentuk Benda Uji Yang Mempunyai Diameter ≤ 15 mm (sumber : SNI 07-2529-1991)

Keterangan :

L_t = panjang total benda uji, mm

l_o = panjang ukur semula benda uji, mm

d_o = diameter terkecil benda uji, mm

D = diameter contoh, mm

L_j = panjang bagian benda uji yang terjepit

r = jari – jari cekungan,

A_o = Luas tulangan

Adapun nilai-nilai parameter tersebut sesuai dengan diameter tulang dapat dilihat di Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Daftar Parameter Benda Uji (Ukuran Dalam mm) (sumber : SNI 07-2529-1991)

d	D min	h min	k	0	r	Barang percobaan dp5 batang percobaan dp10					
						Lo	Lo+2m	Lt min	Lo	Lo+2m	Lt min
6	8	25	3	2,5	3	30	36	91	60	66	121
8	10	30	4	3	4	40	48	114	80	88	154
10	12	35	5	3	5	50	60	136	100	110	186
12	15	40	6	4	6	60	72	160	120	132	220
14	17	45	7	4,5	7	70	84	183	140	154	253
16	20	50	8	5,5	8	80	96	207	160	176	287
18	22	55	9	6	9	90	108	230	180	198	320
20	24	60	10	6	10	100	120	252	200	220	352
25	30	70	12,5	7,5	12,5	125	150	305	250	275	430

3. Spesifikasi benda uji tulangan baja ulir

Berdasarkan SNI 07-2052-2002 untuk baja sedang dan baja keras jarak sirip/ulir harus memenuhi pesyaratan yaitu :

- Sudut sirip/ulir melintang sumbu batang tulangan terhadap memanjang besi tulangan tidak boleh kurang dari 45.
- Jika sudut siri/ulir 45-70 maka arah sirip/ulir dibuat berlawanan pada kedua sisi.
- Jika sudut sirip/ulir 70 maka tidak perlu dibuat berlawanan.

Tabel 3.4. spesifikasi tulangan baja ulir
(sumber : SNI 07-2052-2002)

Ukuran	Diameter nominal (mm)	Diameter dalam nominal (mm)	Tinggi sirip melintang (mm)		Jarak sirip melintang [maks] – (mm)	Lebar rusuk memanjang [maks] – (mm)
			min	maks		
D8	8	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3
D10	10	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9
D13	13	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2
D16	16	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6
D19	19	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9
D22	22	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3
D25	25	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7
D32	32	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1

3.5.2. Persiapan Alat

a. Alat Pengencang Baut



Gambar 3.6. Alat pengencang baut (*torque wrench*)

Dalam penelitian ini untuk pengencangan baut dilakukan dengan menggunakan *torque wrench* (kunci torsi). Torsi adalah satuan ukuran yang menyatakan berapa banyak kekuatan yang digunakan untuk mengatasi resistensi untuk rotasi.

Kunci pas (*wrench*) digunakan untuk memberikan gaya berputar seperti saat memutar baut dan mengencangkannya. Saat menggunakan *torque wrench* (kunci torsi), artinya menggunakan


alat yang digunakan khusus untuk mengukur jumlah gaya yang diterapkan saat memutar kunci pas tersebut.


Tujuan dari pengukuran torsi ini untuk jaminan kualitas dari pengencangan sebuah baut, seperti standarisasi dari jumlah torsi yang digunakan saat melakukan pekerjaan tertentu. Pengukuran torsi dapat digunakan untuk memastikan bahwa jumlah kekuatan yang tepat telah diaplikasikan, untuk membuat standarisasi keamanan pada saat mengencangkan baut, dan bila mana prosedur ini tidak dilakukan, maka dikhawatirkan akan terjadi kegagalan dalam melakukan pekerjaan.

Kunci torsi digunakan sebagai step akhir setelah pengencangan baut menggunakan kunci pas/ring. Proses pengencangan baut secara bertahap (tidak langsung full) untuk menghindari efek mengalami baling / kepuntir / pecah.

Dalam pelaksanaan ini untuk mempermudah pengencangan baut sesuai dengan diameter dan grade yang dipakai, kita menggunakan tabel *equivalensi* torsi baut, adapun *tabel equivalensi* baut dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.5. Tabel *equivalensi* torsi baut
(Sumber : *The Bolt Supply House Ltd, George P. Burnham*)

 A325 GRADE 5			
HSCZ			
Diameter	Proof Load	Yield Strength	Tensile Strength
1/4"-1"	85,000	92,000	120,000
3/4" - 1-1/2"	74,000	81,000	105,000
Medium Carbon Steel, Quenched and Tempered			

 GRADE 8		
Proof Load	Yield Strength	Tensile Strength
120,000	130,000	150,000
Carbon Alloy Steel, Quenched and Tempered		

Size	Clamp Load (lb)	Assembly Torque Dry (ft lb)	Assembly Torque Lub (ft lb)	Min. Tensile (lb)
1/4 - 20	2000	8	7	4450
1/4 - 28	2300	10	8	4840
5/16 - 18	3350	17	13	7190
5/16 - 24	3700	19	14	7670
3/8 - 16	4950	30	23	10530
3/8 - 24	5600	35	25	11400
1/2 - 13	9000	75	55	19000
1/2 - 20	10500	90	65	20800
5/8 - 11	14400	150	110	30100
5/8 - 18	16370	180	130	32600
3/4 - 10	21300	260	200	44200
3/4 - 16	23800	300	220	47400
7/8 - 9	29450	370	270	53100
1 - 8	38600	640	480	69500
1-1/8 - 7	42300	800	600	87800
1-1/4 - 7	53800	1120	840	110300
1-3/8 - 6	64100	1460	1100	132200
1-1/2 - 6	78000	1910	1460	159600

Size	Clamp Load (lb)	Assembly Torque Dry (ft lb)	Assembly Torque Lub (ft lb)	Min. Tensile (lb)
1/4 - 20	2850	12	9	6600
1/4 - 28	3250	14	10	7200
5/16 - 18	4700	25	18	10700
5/16 - 24	5200	25	20	11500
3/8 - 16	7000	45	35	15800
3/8 - 24	7900	50	35	21600
1/2 - 13	12750	110	80	28600
1/2 - 20	14370	120	90	30800
5/8 - 11	20350	220	170	45200
5/8 - 18	23000	240	180	49000
3/4 - 10	30100	380	280	66300
3/4 - 16	33500	420	320	71100
7/8 - 9	41600	600	460	91000
1 - 8	54500	900	680	119200
1-1/8 - 7	68900	1280	960	150500
1-1/4 - 7	87200	1820	1340	189200
1-3/8 - 6	104000	2380	1780	226700
1-1/2 - 6	126900	3160	2360	273600

Cara kerja/penggunaan kunci torsi (*torque wrench*) adalah:

- Setel kunci torsi sesuai kekuatan yang ditetapkan berdasarkan Tabel 3.4.
- Pasang kunci yang sesuai dengan ukuran mur yang akan dikencangkan pada penggerak kunci torsi.
- Masukkan kunci soket pada mur yang akan dikencangkan.
- Tempatkan tangan kiri di ujung penggerak dan tangan kanan pada tangkai kunci momen. Tarik secara merata dengan tangan kanan sampai terdengar bunyi klik.

b. Alat Uji *Universal Testing Machine* (UTM)

Alat eksperimen untuk uji tarik ini memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). *Universal Testing Machine* ini dapat menguji bahan plastik, logam, kayu, dan baja. Dengan kapasitas *load cell Universal Testing Machine* ini bisa mencapai 10000 kgf atau 100 ton dengan kecepatan bervariasi mulai dari 0,2 mm/menit sampai 500 mm/menit. Pengujian bisa dilakukan pada suhu kamar, 23 derajat Celcius dengan kelembaban 50% sampai pengujian pada suhu tinggi hingga 200 derajat Celcius.

Parameter yang dihasilkan *Universal Testing Machine* baik untuk uji tarik maupun uji tekan adalah modulus elastisitas (*modulus Young*), kuat luluh (*yield strength*), kuat maximum tekan/tarik (*ultimate strength*), kuat putus (*break strength*), regangan luluh (*yield strain*), regangan di titik maksimum tekan/tarik (*ultimate strain*), regangan putus (*break strain/ % elongation at break*).

Data yang langsung diperoleh dari *Universal Testing Machine* ini adalah perubahan panjang sampel terhadap setiap besar gaya yang diberikan. Hasil ini akan dikonversikan ke dalam bentuk grafik strain-strength. Data awal inilah yang kemudian dianalisa lebih lanjut menggunakan komputer untuk mendapatkan parameter-parameter yang telah disebutkan di atas.



Gambar 3.7. Alat Uji *Universal Testing Mesin (UTM)*

Cara kerja/penggunaan alat kuat tarik adalah:

- Setel grip agar dalam pelaksanaan pengujian tidak terjadi slip.
- Pasang benda uji yang sudah disiapkan terlebih dahulu dan kencangkan sekencang mungkin agar dalam proses pengujian kuat tarik tidak terjadi slip.
- Jalankan mesin uji (*UTM*) sampai baja yang di uji mengalami putus.
- Setelah pengujian selesai data yang diperoleh berupa grafik hubungan tegangan Vs regangan, atau data hubungan beban Vs perpanjangan dan lain sebagainya dapat langsung dilihat didalam layar computer mesin (*UTM*).

3.6. Pengujian Kuat Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.

Pengujian tarik ini merupakan salah satu pengujian yang penting untuk dilakukan, karena dengan pengujian ini dapat memberikan berbagai informasi mengenai sifat-sifat baja. Dalam bidang industri juga diperlukan pengujian tarik ini untuk mempertimbangkan faktor mekanis yang tercakup dalam proses perlakuan terhadap baja jadi, untuk memenuhi proses selanjutnya.

Oleh karena pentingnya pengujian tarik ini, kita sebagai mahasiswa hendaknya mengetahui mengenai pengujian ini. Dengan adanya kurva tegangan regangan kita dapat mengetahui kekuatan tarik, kekuatan luluh, keuletan, modulus elastisitas, ketangguhan, dan lain-lain. Pada pengujian tarik ini kita juga harus mengetahui dampak pengujian terhadap sifat mekanis dan fisik suatu baja. Dengan mengetahui parameter-parameter tersebut maka kita dapat data dasar mengenai kekuatan suatu bahan atau baja.

BAB IV

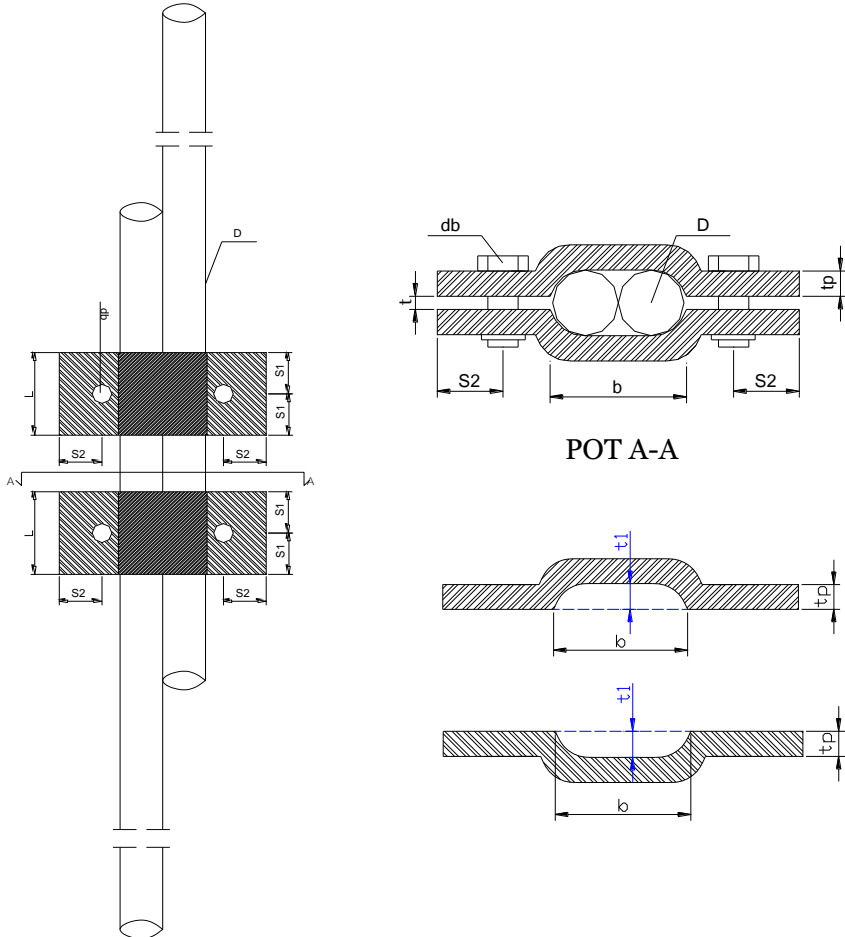
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Hasil penelitian disajikan berupa data yang telah dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian dimulai dari data-data bahan yang mencakup pengujian kuat tarik baja tulangan beton.

Pengujian kuat tarik baja tulangan beton terdiri dari 3 macam diameter baja tulangan beton yaitu D13 mm, D16 mm, dan D19 mm. Pengujian kuat tarik baja tulangan yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik baja tulangan yang disambung dengan *clamp* dan pengujian kuat tarik tulangan baja utuh. Pengujian yang paling utama dari penelitian ini adalah pengujian kuat tarik baja tulangan yang sudah disambung menggunakan *clamp* dengan berbagai variasi jumlah *clamp* serta kekencangan baut yang tetap atau sama. Data yang diperoleh dari pengujian utama adalah beban, perpanjangan, modulus elastisitas, tegangan dan regangan. Sehingga dari data tersebut dianalisa untuk mendapatkan grafik beban vs perpanjangan, dan grafik hubungan tegangan vs regangan.

4.2. Analisa Kekuatan Baut Menahan Gaya Geser



Gambar 4.1. Contoh gambar perletakan *clamp* sebagai sambungan mekanis

A. Tulangan baja D13 mm, digunakan baut untuk bahan penyambung db 8 mm

1. Kapasitas baja tulangan menerima gaya tarik

$$P = 1/4 \times \pi \times D^2 \times fy$$

$$P = 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$P = 53.092,92 \text{ N}$$

2. Kekuatan baut memikul beban geser

$$\bullet \quad Vn = 1,13 \times \mu \times m \times Tb$$

$$Tb = (0,7 \times fu^b) \times (0,75 \times Ab)$$

$$Tb = (0,7 \times 827 \text{ MPa}) \times (0,75 \times 50,27 \text{ mm}^2)$$

$$Tb = 26.425,98 \text{ N}$$

$$Vn = 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 26.425,98 \text{ N}$$

$$Vn = 10.451,475 \text{ N}$$

$$\bullet \quad Vd = \phi f \times Vn$$

$$Vd = 0,85 \times 10.451,475 \text{ N}$$

$$Vd = 8883,754 \text{ N} \quad (\text{menentukan})$$

3. Jumlah baut yang diperlukan :

$$n = \frac{Pu}{Vd} = \frac{53.092,92 \text{ N}}{8883,754 \text{ N}} = 5,976 \approx 6 \text{ buah baut}$$

4. Jarak antar baut

$$\bullet \quad b = 2 \times 13 = 26 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad t = 20\% \times db = 20\% \times 13 = 2,6 \text{ mm}$$

- nilai s

$$3db \leq S \leq 15tp$$

$$3 \times 8 \leq 20 \leq 15 \times 5$$

$$24 \leq 50 \leq 75$$

S Dapat digunakan 25 mm

- nilai $S1$

$$1,5db \leq S1 \leq 4tp$$

$$1,5 \times 8 \leq 12,5 \leq 4 \times 5$$

$$12 \leq 15 \leq 20 \text{ dipakai } 15 \text{ mm}$$

- nilai $S2$

$$1,75db \leq S1 \leq 12tp$$

$$1,75 \times 8 \leq 15 \leq 12 \times 5$$

$$14 \leq 15 \leq 60 \text{ dipakai } 15 \text{ mm}$$

5. Kekuatan pelat

$$Ag = 3 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}^2$$

Kuat leleh :

$$Pu = \phi t \times Ag \times fy$$

$$Pu = 0,9 \cdot 1,5 \cdot 4000 = 5400 \text{ kg}$$

$$\phi p = \phi \text{ baut} + 1,5 = 8 + 1,5 = 9,5 \text{ mm}$$

$$An = 1,3 - 1 \times 0,95 \times 0,5 = 0,825 \text{ cm}^2$$

$$Ae = \mu \times An = 1 \times 0,825 = 0,825 \text{ cm}^2$$

Kuat putus :

$$Pu = \phi t \cdot Ae \cdot fu$$

$$Pu = 0,75 \cdot 0,825 \cdot 55900$$

$$Pu = 34.588,125 \text{ kg}$$

B. Tulangan baja D16 mm, digunakan baut untuk bahan penyambung db 10 mm

1. Kapasitas baja tulangan menerima gaya tarik

$$P = 1/4 \times \pi \times D^2 \times f_y$$

$$P = 1/4 \times \pi \times 16^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$P = 80.424,77 \text{ N}$$

2. Kekuatan baut memikul beban geser

$$\bullet \quad V_n = 1,13 \times \mu \times m \times T_b$$

$$T_b = (0,7 \times f_u^b) \times (0,75 \times A_b)$$

$$T_b = (0,7 \times 827 \text{ MPa}) \times (0,75 \times 78,539 \text{ mm}^2)$$

$$T_b = 34.099,67 \text{ N}$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 34.099,67 \text{ N}$$

$$V_n = 13.486,419 \text{ N}$$

$$\bullet \quad V_d = \phi f \times V_n$$

$$V_d = 0,85 \times 13.486,419 \text{ N}$$

$$V_d = 11.463,457 \text{ N} \quad (\text{menentukan})$$

3. Jumlah baut yang diperlukan :

$$n = \frac{P_u}{V_d} = \frac{80.424,77 \text{ N}}{11.463,457 \text{ N}} = 7,01 \approx 8 \text{ buah baut}$$

4. Jarak antar baut

$$\bullet \quad b = 2 \times 16 = 32 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad t = 20\% \times db = 20\% \times 16 = 3.2 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad \text{nilai } s$$

$$3db \leq S \leq 15tp$$

$$3 \times 10 \leq 35 \leq 15 \times 5$$

$30 \leq 50 \leq 75$ S Dapat digunakan 35 mm

- nilai S1

$$1,5db \leq S1 \leq 4 tp$$

$$1,5 \times 10 \leq 15 \leq 4 \times 5$$

$$15 \leq 15 \leq 20 \text{ dipakai } 15 \text{ mm}$$

- nilai S2

$$1,75db \leq S1 \leq 12 tp$$

$$1,75 \times 10 \leq 20 \leq 12 \times 5$$

$$17,5 \leq 20 \leq 60 \text{ dipakai } 20 \text{ mm}$$

5. Kekuatan pelat

$$Ag = 3 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}^2$$

Kuat leleh :

$$Pu = \phi t \times Ag \times fy$$

$$Pu = 0,9 \cdot 1,5 \cdot 4000 = 5.400 \text{ kg}$$

$$\phi p = \phi baut + 1,5 = 10 + 1,5 = 11,5 \text{ mm}$$

$$An = 1,3 - 1 \times 1,15 \times 0,5 = 0,875 \text{ cm}^2$$

$$Ae = \mu \times An = 1 \times 0,875 = 0,875 \text{ cm}^2$$

Kuat putus :

$$Pu = \phi t \cdot Ae \cdot fu$$

$$Pu = 0,75 \cdot 0,875 \cdot 55900$$

$$Pu = 36.684,375 \text{ kg}$$

C. Tulangan baja D19 mm, digunakan baut untuk bahan penyambung db 12 mm

1. Kapasitas baja tulangan menerima gaya tarik

$$P = 1/4 \times \pi \times D^2 \times f_y$$

$$P = 1/4 \times \pi \times 19^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$P = 113.411,495 \text{ N}$$

2. Kekuatan baut memikul beban geser

$$\bullet \quad V_n = 1,13 \times \mu \times m \times T_b$$

$$T_b = (0,7 \times f_u^b) \times (0,75 \times A_b)$$

$$T_b = (0,7 \times 827 \text{ MPa}) \times (0,75 \times 113,097 \text{ mm}^2)$$

$$T_b = 49.103,889 \text{ N}$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 49.103,889 \text{ N}$$

$$V_n = 19.420,588 \text{ N}$$

$$\bullet \quad V_d = \phi f \times V_n$$

$$V_d = 0,85 \times 19.420,588 \text{ N}$$

$$V_d = 16.507,4998 \text{ N} \quad (\text{menentukan})$$

3. Jumlah baut yang diperlukan :

$$n = \frac{P_u}{V_d} = \frac{113.411,495 \text{ N}}{16.507,4998 \text{ N}} = 6.87 \approx 10 \text{ buah baut}$$

4. Jarak antar baut

$$\bullet \quad b = 2 \times 19 = 38 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad t = 20\% \times db = 20\% \times 19 = 3.8 \text{ mm}$$

• nilai s

$$3db \leq S \leq 15tp$$

$$3 \times 12 \leq 50 \leq 15 \times 5$$

$36 \leq 50 \leq 75$ S Dapat digunakan 50 mm

- nilai S1

$$1,5db \leq S1 \leq 4 tp$$

$$1,5 \times 12 \leq 20 \leq 4 \times 5$$

$$18 \leq 20 \leq 20 \text{ dipakai } 20 \text{ mm}$$

- nilai S2

$$1,75db \leq S1 \leq 12 tp$$

$$1,75 \times 12 \leq 25 \leq 12 \times 5$$

$$21 \leq 25 \leq 60 \text{ dipakai } 20 \text{ mm}$$

5. Kekuatan pelat

$$Ag = 3 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}^2$$

Kuat leleh :

$$Pu = \phi t \times Ag \times fy$$

$$Pu = 0,9 \cdot 1,5 \cdot 4000 = 5.400 \text{ kg}$$

$$\phi p = \phi \text{ baut} + 1,5 = 12 + 1,5 = 13,5 \text{ mm}$$

$$An = 1,3 - 1 \times 1,35 \times 0,5 = 0,975 \text{ cm}^2$$

$$Ae = \mu \times An = 1 \times 0,975 = 0,975 \text{ cm}^2$$

Kuat putus :

$$Pu = \phi t \cdot Ae \cdot fu$$

$$Pu = 0,75 \cdot 0,975 \cdot 55900$$

$$Pu = 40.876,875 \text{ kg}$$

Dari hasil analisa hitungan tersebut, dapat ditabelkan ukuran parameter *clamp* yang akan digunakan dalam percobaan penelitian ini. Adapun tabel nilai parameter *clamp* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Ukuran parameter *clamp* dan tulangan baja
(Sumber : hasil analisa)

NO	D. TUL	Panjang clamp (L)	tebal clamp (tp)	kuat leleh clamp (fy)	kuat leleh tul (fy)	D. baut (db)	t	t1	Jarak baut (mm)	
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	mm	mm	mm	s1	s2
1	13	30	5	400	400	8	2.6	5.2	15	15
2	16	30	5	400	400	10	3.2	6.4	15	20
3	19	40	5	400	400	12	3.8	7.6	20	25
catatan: 1. Nilai t diasumsikan 20% dari diameter baja tulangan yang akan disambung 2. spasi antar <i>clamp</i> diasumsikan 5 cm										

4.3. Pengujian Fisik Baja Tulangan

Pengukuran diameter dan berat terhadap diameter rata-rata baja tulangan diform D13 mm, D16 mm, dan D19 mm dapat disimpulkan bahwa diameter rata-rata yang diizinkan dalam (SNI-07-2052-2002) untuk diameter $8 < d < 14$ dan $16 < d < 25$ dengan batas toleransi ± 0.4 mm dan ± 0.5 mm, maka didapat kesimpulan bahwa baja tulangan diform dari 3 (tiga) bentuk diameter tersebut sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Untuk ukuran berat permeter standart yang ditetapkan (SNI-07-2052-2002) untuk D13 mm sebesar 1.04 kg/m, D16 mm sebesar 1.58 kg/m, dan D19 mm sebesar 2.23 kg/m. sehingga dapat disimpulkan ketiga bentuk diameter tersebut sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Adapun hasil pengukuran fisik baja tulangan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran fisik baja tulangan normal untuk D13 mm, D16 mm, D19mm (Sumber : hasil analisa)

No	diameter nominal (mm)	diameter terukur rata-rata (mm)	panjang sampel (mm)	berat nominal (gr)	luas penampang (mm ²)	Diameter pengenal (mm)
1	13	12.7	500	521.3	132.7326	13.07
2	13	12.71	500	520.8	132.7326	13.06
3	13	12.72	500	521.4	132.7326	13.07
4	16	15.71	500	790.7	201.0624	16.10
5	16	15.71	500	790.4	201.0624	16.09
6	16	15.73	500	790.6	201.0624	16.10
7	19	18.74	500	1109.9	283.5294	19.07
8	19	18.71	500	1108.4	283.5294	19.06
9	19	18.72	500	1108.7	283.5294	19.06

4.4. Pengujian Sifat Mekanis Uji Tarik Baja Tulangan

Pada pengujian tarik dilakukan terhadap masing-masing diameter benda uji, setiap diameter memiliki 3 sampel benda uji . Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan Standart Nasional Indonesia (SNI-07-2052-2002). Perhitungan hasil laboratorim dari grafik setelah uji tarik terhadap material benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini, untuk lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.3. Hasil uji kuat tarik baja tulangan normal untuk tulangan D13 mm, D16 mm, dan D19 mm (Sumber : hasil analisa)

No	Diameter nominal (mm)	Diameter terukur rata-rata (mm)	Panjang sampel (mm)	Berat nominal (gr)	Luas penampang (mm2)	Diameter pengenal (mm)	Beban leleh (kg)	Beban max (kg)	Tegangan leleh		Tegangan max		Modulus elastisitas (MPa)	Elongation (%)
									kg/mm2	N/mm2	kg/mm2	N/mm2		
1	13	12.7	500	521.3	132.7326	13.07	6495.20	8777.53	48.93	480.05	66.13	648.73	194718.671	20.48
2	13	12.71	500	520.8	132.7326	13.06	6376.93	8677.53	48.04	471.31	65.38	641.34	191733.93	19.76
3	13	12.72	500	521.4	132.7326	13.07	6563.90	8902.98	49.45	485.12	67.07	658.00	198463.035	21.67
4	16	15.71	500	790.7	201.0624	16.10	9853.26	12539.21	49.01	480.75	62.36	611.80	205535.739	21.29
5	16	15.71	500	790.4	201.0624	16.09	9750.00	12461.58	48.49	475.71	61.98	608.01	203880.509	20.51
6	16	15.73	500	790.6	201.0624	16.10	9711.65	12418.32	48.30	473.84	61.76	605.90	202587.897	21.48
7	19	18.74	500	1109.9	283.5294	19.07	12532.17	17650.87	44.20	433.61	62.25	610.71	194312.23	21.05
8	19	18.71	500	1108.4	283.5294	19.06	12461.72	17610.63	43.95	431.17	62.11	609.32	194548.62	22.37
9	19	18.72	500	1108.7	283.5294	19.06	12577.72	17598.87	44.36	435.18	62.07	608.91	200897.24	20.39

Dari pemeriksaan fisik sebelum dilakukan uji tarik dan pemeriksaan setelah dilakukan uji tarik dan grafik dari sampel uji tarik dapat dilakukan perhitungan terhadap sifat mekanis dari baja tersebut antara lain:

1. Modulus elastisitas

Tegangan modulus elastisitas rata-rata baja tulangan untuk D13 mm sebesar 194.971,87 MPa, Untuk D16 mm sebesar 204.001,38 MPa, dan modulus elastisitas D19 mm sebesar 196.586,03 MPa.

2. Tegangan luluh bawah (*lower yield stress*).

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Didapat tegangan luluh bawah rata-rata untuk D13 mm sebesar 481,77 MPa, untuk D16 mm sebesar 477,59 MPa, dan untuk D19 mm sebesar 434,94 MPa.

3. Tegangan luluh Atas (*upper yield stress*).

Tegangan maksimum atas sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis, untuk D13 mm didapat tegangan luluh atas sebesar 482,79 MPa, untuk D16 mm didapat tegangan luluh atas sebesar 478,13 MPa, dan untuk D19 mm didapat tegangan luluh atas sebesar 435,33 MPa

4. Perhitungan Kuat Tarik Maksimum

Kuat tarik maksimum (f_u) dari perhitungan didapat untuk D13 mm sebesar 649,36 MPa, untuk D16 mm sebesar 608,57 MPa, dan kuat tarik maksimum untuk D19 mm sebesar 609,65 MPa.

5. Perhitungan Tegangan Tarik Leleh

Tegangan tarik leleh (f_y) dari perhitungan didapat untuk D13 mm sebesar 478,83 MPa, dan untuk D16 mm sebesar 476,77 MPa, dan tegangan tarik leleh D19 mm sebesar 433,32 MPa.

6. Perhitungan Regangan Maksimum

Regangan maksimum (ϵ_{Maks}) rata-rata dari perhitungan didapat untuk D13 mm sebesar 20,63 %, dan untuk D16 mm sebesar 21,09 %, dan Regangan maksimum (ϵ_{Maks}) untuk D19 mm sebesar 21.26 %.

4.5. Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan Yang Disambung Dengan *Clamp* (Sambungan Mekanis)

Sambungan ini terdiri dari kombinasi antara panjang lewatan dengan sambungan mekanis, dimana kedua kombinasi itu dipadukan dengan harapan layak dijadikan sebagai sambungan mekanis yang memenuhi persyaratan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2)) minimal kuat tarik

yang mampu ditahan sebesar 125% dari kuat leleh tulangan yang disambung. Dalam penelitian ini system penyambungannya dilaksanakan dengan membedakan variasi jumlah *clamp*. Variasi yang digunakan mulai dari penyambungan tulangan dengan menggunakan bahan penyambung untuk D13 mm dicoba menggunakan satu (1) pasang *clamp* hingga tiga (3) pasang *clamp*, untuk D16 mm dicoba menggunakan satu (1) pasang *clamp* hingga empat (4) pasang *clamp*, dan untuk D19 dicoba menggunakan satu (1) pasang *clamp* hingga lima (5) pasang *clamp*. Variasi yang digunakan bertujuan untuk mendapatkan gambaran seberapa besar kekuatan yang disumbangkan setiap satu pasang *clamp*_nya dengan kekencangan baut yang ditetapkan sesuai dengan diameter baut dan mutu baut yang digunakan. Adapun contoh gambar tulangan yang disambung dengan *clamp* dapat dilihat seperti gambar 4.2



Gambar 4.2 Baja tulangan disambung dengan *clamp*

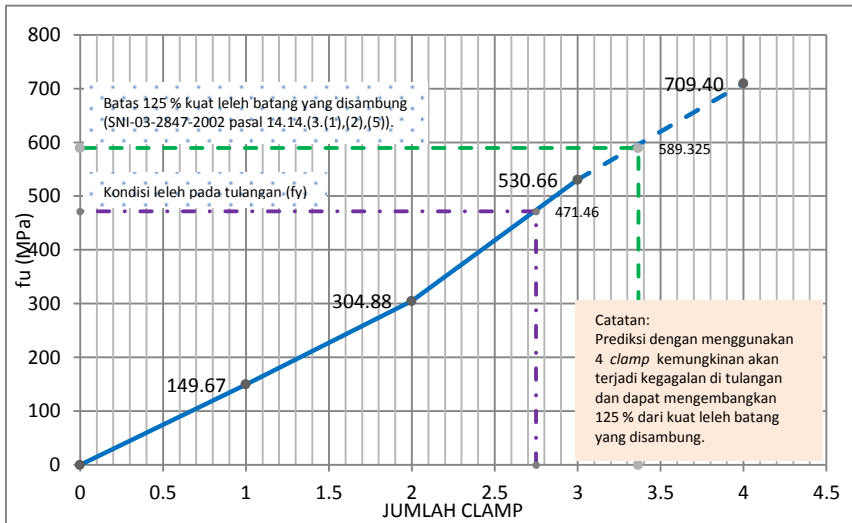
1. Baja tulangan yang disambung diameter 13 mm

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D13 mm digunakan variasi jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang *clamp* s/d tiga (3) pasang *clamp*. Dan untuk pengencangan *clamp* dalam penyambungan ini digunakan baut dengan *grade* 8.8 diameter 8 mm dengan kuat tarik (f_u) sebesar 827 MPa, sehingga kekencangan baut atau torsi baut didapatkan sesuai dengan tabel 3.4. sebesar 25 lbft atau setara dengan 32,625 Nm.

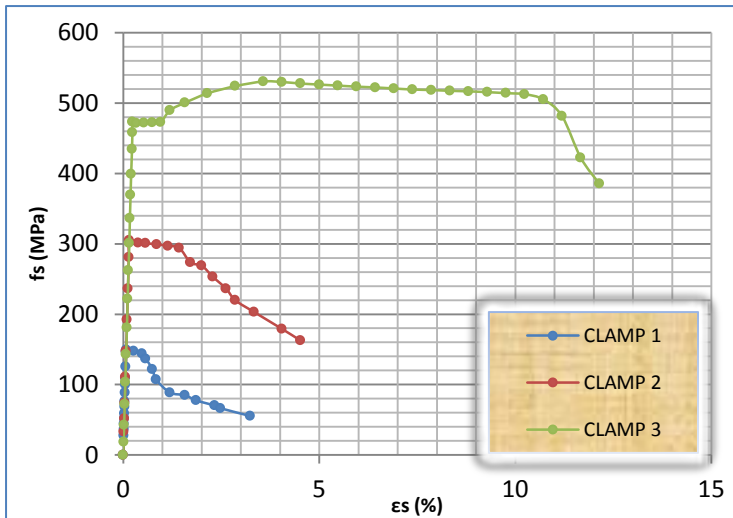
Hasil dari uji kuat tarik baja tulangan yang disambung dengan menggunakan *clamp*, setelah di analisa didapat kekutan tarik dengan menggunakan satu pasang *clamp* sebesar 149,67 MPa dan beban maksimal sebesar 2,025 ton, untuk penyambungan dengan dua (2) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 4.125 ton dan kuat tarik sebesar 304,88 MPa, dan untuk penyambungan tiga (3) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 7,180 ton dan kuat tarik sebesar 530,66 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.3. Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*, serta Gambar 4.4. Hubungan tegangan vs regangan.

Tabel 4.4. Rekap hasil uji tarik baja tulangan D13 mm disambung dengan *clamp* (Sumber : hasil analisa)

No	Penamaan	diameter yang disambung	panjang sampel	luas penampang	Beban leleh	Beban max	Tegangan leleh		Tegangan max	
		mm	mm	mm ²	kg	kg	kg/mm ²	N/mm ²	kg/mm ²	N/mm ²
1	1 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	-	2025.07	-	-	15.26	149.67
	1 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	-	2015.42	-	-	15.18	148.96
2	2 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	-	4125.16	-	-	31.08	304.88
	2 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	-	4103.66	-	-	30.92	303.29
3	3 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	6379.00	7180.00	48.06	471.46	54.09	530.66
	3 CLAMP	13	500 X 2	132.7326	6211.00	7054.56	46.79	459.04	53.15	521.39



Gambar 4.3. Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp* untuk tulangan D13 mm



Gambar 4.4. Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp* untuk tulangan D13 mm

Dari hasil uji tarik yang dilakukan, tulangan yang disambung dengan menggunakan tiga pasang *clamp* sudah mengalami *plastis* atau leleh pada tulangan yang disambung. Kuat leleh yang diperoleh dari uji tarik sebesar 471,46 MPa. Namun sambungan dengan menggunakan tiga pasang *clamp* masih belum mencapai kuat tarik minimal yang di syaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.2)) yaitu sebesar 125 % dari kuat leleh atau kuat tarik maksimum harus mencapai $125\% \times 471,46 \text{ MPa}$, sedangkan kuat tarik maksimum (f_u) didapat sebesar 530,66 MPa, untuk mencapai kuat tarik minimal 125% dibutuhkan f_u sebesar 589,325 MPa. Namun

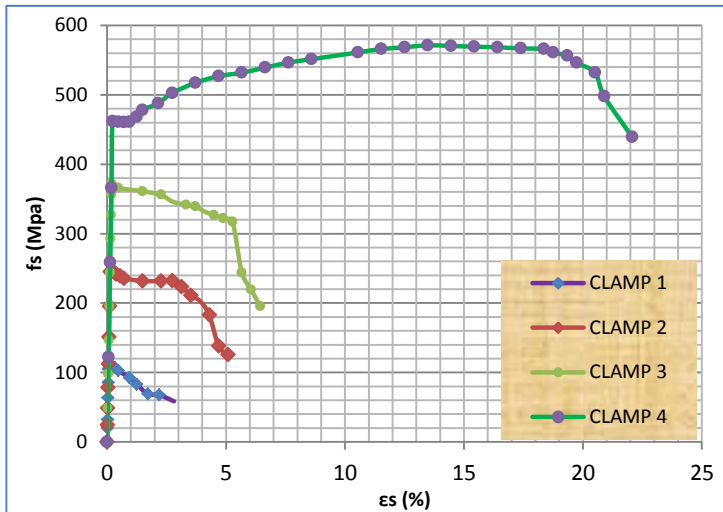
sambungan ini masih tetap bias digunakan apabila memenuhi persyaratan yang disyaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.15(4). Adapun hal-hal yang perlu diperbaiki/diperhatikan dalam penelitian ini adalah:

- a. Diameter baut yang ditentukan terlalu kecil sehingga kekencangan atau torsi baut tidak bisa didapatkan semaksimal mungkin.
- b. Mutu *clamp* yang lebih rendah dari mutu tulangnya sendiri menyebabkan daya ikat *clamp*-nya kurang maksimal.
- c. Bentuk *clamp* yang dicetak masih belum sempurna sehingga daya ikat *clamp* belum maksimal.

2. Baja tulangan yang disambung diameter 16 mm

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D16 mm digunakan variasi jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang *clamp* s/d empat (4) pasang *clamp*. Dan untuk pengencangan *clamp* dalam penyambungan ini digunakan baut dengan grade 8.8 diameter 10 mm dengan kuat tarik (f_u) sebesar 827 MPa, sehingga kekencangan baut atau torsi baut didapatkan sesuai dengan tabel 3.4. sebesar 35 lbft atau setara dengan 45.675 Nm.

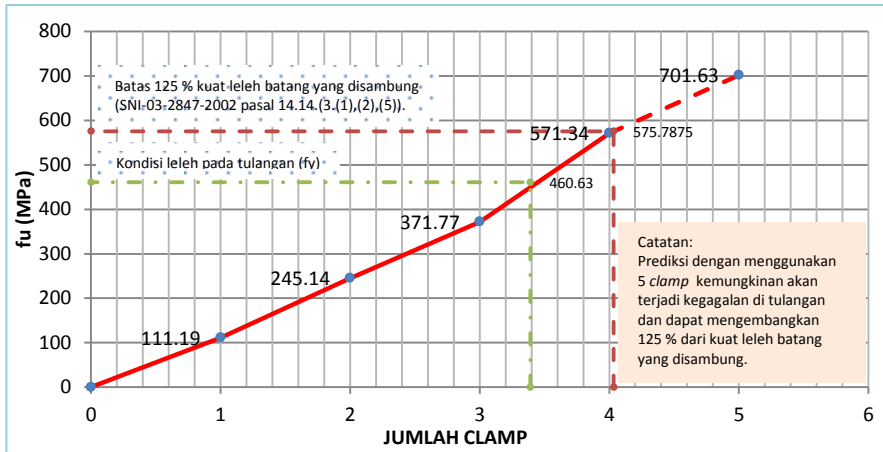
Hasil dari uji kuat tarik baja tulangan yang disambung dengan menggunakan *clamp*, setelah di analisa didapat kekutan tarik dengan menggunakan satu pasang *clamp* sebesar 111.19 MPa dan beban maksimal sebesar 2,279 ton, untuk penyambungan dengan dua (2) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 5.024 ton dan kuat tarik sebesar 245.14 MPa, untuk penyambungan tiga (3) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 7,619 ton dan kuat tarik sebesar 371.77 MPa, dan untuk penyambungan empat (4) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 11,71 ton dan kuat tarik sebesar 571.34 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.5. hubungan tegangan vs regangan, serta Gambar 4.6. hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*.



Gambar 4.5. Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp* untuk tulangan D16 mm

Tabel 4.5. Rekap hasil uji tarik baja tulangan D16 mm disambung dengan *clamp* (Sumber : hasil analisa)

No	Penamaan	Diameter yang disambung	panjang sampel	Luas penampang	Beban leleh	Beban max	Tegangan leleh		Tegangan max	
		mm	mm	mm ²	kg	kg	kg/mm ²	N/mm ²	kg/mm ²	N/mm ²
1	1 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	2279.00	-	-	11.33	111.19
	1 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	2253.66	-	-	11.21	109.96
2	2 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	5024.35	-	-	24.99	245.14
	2 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	5009.21	-	-	24.91	244.40
3	3 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	7619.68	-	-	37.90	371.77
	3 CLAMP	16	500 X 2	201.0624	-	7514.68	-	-	37.37	366.65
4	4 CLAMP	16	700 X 2	201.0624	9440.89	11710.00	46.96	460.63	58.24	571.34
	4 CLAMP	16	700 X 2	201.0624	9630.89	11468.90	47.90	469.90	57.04	559.58



Gambar 4.6. Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp* untuk D16 mm

Dari hasil uji tarik yang dilakukan, tulangan yang disambung dengan menggunakan empat pasang *clamp* sudah mengalami *plastis* atau leleh pada tulangan yang disambung. Kuat leleh yang diperoleh dari uji tarik sebesar 460,63 MPa. Sambungan dengan menggunakan empat pasang *clamp* sudah mendekati kuat tarik minimal yang di syaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)) yaitu sebesar 125 % dari kuat leleh atau kuat tarik maksimum harus mencapai $125\% \times 460,63 = 575,78$ MPa , sedangkan kuat tarik maksimum (*fu*) didapat sebesar 571,34 MPa $\approx 575,78$ MPa , jadi sambungan dengan menggunakan 4 *clamp* dianggap sudah memenuhi syarat SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)) . Namun masih ada beberapa hal yang perlu diperbaiki/diperhatikan dalam penelitian ini adalah:

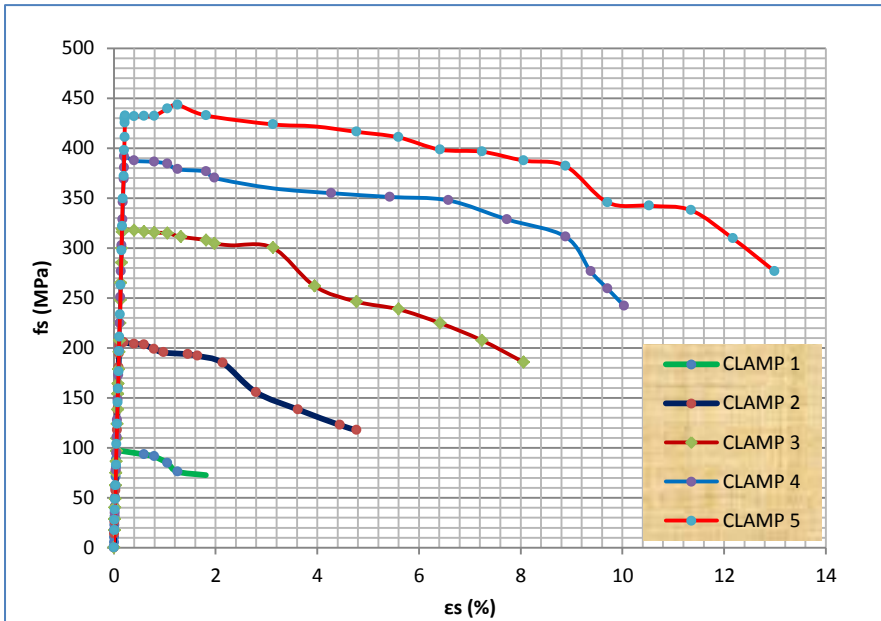
- a. Pada saat memberi kekencangan atau torsi baut tidak mencapai torsi maksimum yang ditentukan berdasarkan Tabel 3.4. disebabkan karena mutu *clamp* yang terlalu rendah.
- b. Mutu *clamp* yang lebih rendah dari mutu tulangnya sendiri menyebabkan daya ikat *clamp*nya kurang maksimal.
- c. Bentuk *clamp* yang dicetak masih belum sempurna sehingga daya ikat *clamp* belum maksimal.

3. Baja tulangan yang disambung diameter 19 mm

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D19 mm digunakan variasi jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang *clamp* s/d lima (5) pasang *clamp*. Dan untuk pengencangan *clamp* dalam penyambungan ini digunakan baut dengan *grade* 8.8 diameter 12 mm dengan kuat tarik (f_u) sebesar 827 MPa, sehingga kekencangan baut atau torsi baut didapatkan sesuai dengan tabel 3.4. sebesar 45 lbft atau setara dengan 58,725 Nm.

Hasil dari uji kuat tarik baja tulangan yang disambung dengan menggunakan *clamp*, setelah di analisa didapat kekutan tarik dengan menggunakan satu pasang *clamp* sebesar 97,33 MPa dan beban maksimal sebesar 2,813 ton, untuk penyambungan dengan dua (2) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 6,028 ton dan kuat tarik sebesar 208,57 MPa, dan untuk penyambungan tiga (3) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 9,216 ton dan kuat tarik sebesar 318,90 MPa, dan untuk penyambungan empat (4) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 11,323 ton dan kuat tarik sebesar 391,79 MPa, dan untuk penyambungan lima (5) pasang *clamp* didapat beban maksimal sebesar 13,787 ton dan kuat tarik sebesar 477.04 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.6. dan dan Gambar 4.7. hubungan

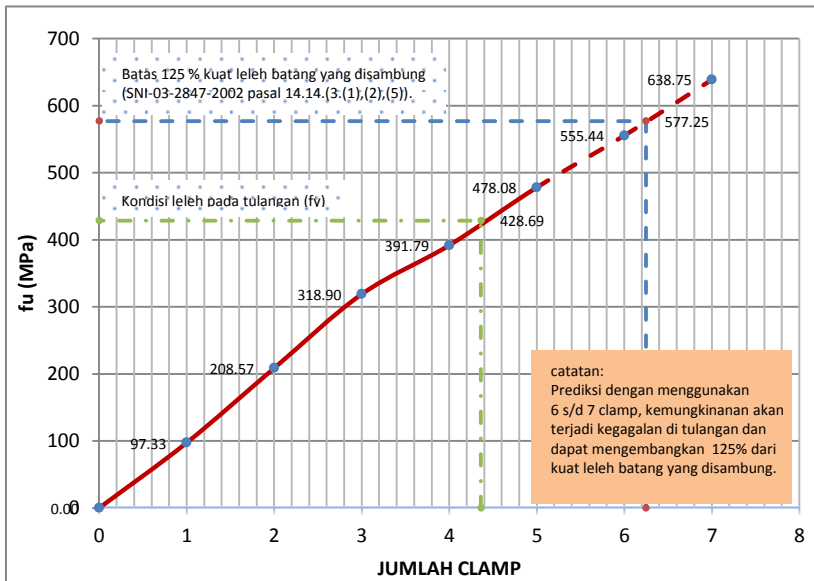
tegangan vs regangan, serta Gambar 4.8. hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*.



Gambar 4.7. Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp* untuk tulangan D19 mm

Tabel 4.6. Rekap hasil uji tarik baja tulangan D19 mm disambung dengan *clamp* (sumber : hasil analisa)

No	Penamaan	Diameter yang disambung	Panjang sampel	Luas penampang	Beban leleh	Beban max	Tegangan leleh		Tegangan max	
		mm	mm	mm ²	kg	kg	kg/mm ²	N/mm ²	kg/mm ²	N/mm ²
1	1 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	2813.00	-	-	9.92	97.33
	1 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	2788.00	-	-	9.83	96.46
2	2 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	6028.00	-	-	21.26	208.57
	2 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	5978.00	-	-	21.08	206.84
3	3 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	9216.78	-	-	32.51	318.90
	3 CLAMP	19	500 X 2	283.5294	-	9111.78	-	-	32.14	315.26
4	4 CLAMP	19	700 X 2	283.5294	-	11323.66	-	-	39.94	391.79
	4 CLAMP	19	700 X 2	283.5294	-	11273.66	-	-	39.76	390.06
5	5 CLAMP	19	700 X 2	283.5294	12480.00	12817.46	44.02	431.80	45.21	443.48
	5 CLAMP	19	700 X 2	283.5294	12390.00	13787.46	43.70	428.69	48.63	477.04



Gambar 4.6. Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp* untuk tulangan D19 mm

Dari hasil uji tarik yang dilakukan, tulangan yang disambung dengan menggunakan lima pasang *clamp* sudah mengalami *plastis* atau leleh pada tulangan yang disambung. Kuat leleh yang diperoleh dari uji tarik sebesar 428,69 MPa. Namun sambungan dengan menggunakan lima pasang *clamp* masih belum mencapai kuat tarik minimal yang di syaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)) yaitu sebesar 125 % dari kuat leleh atau kuat tarik maksimum harus mencapai $125\% \times 428,69 \text{ MPa}$, sedangkan kuat tarik maksimum (*fu*) didapat sebesar 477,04 MPa, untuk mencapai kuat tarik minimal 125% dibutuhkan *fu* sebesar 539, 75 MPa. Hal ini terjadi karena ada beberapa kemungkinan kekurangan dalam penelitian yaitu:

- a. Pada saat memberi kekencangan atau torsi baut tidak mencapai torsi maksimum yang ditentukan berdasarkan tabel 3.4. disebabkan karena mutu *clamp* yang terlalu rendah.
- b. Mutu *clamp* yang lebih rendah dari mutu tulangnya sendiri menyebabkan daya ikat *clamp*_nya kurang maksimal.
- c. Bentuk *clamp* yang dicetak masih belum sempurna sehingga daya ikat *clamp* belum maksimal.

4.6. Perbandingan Panjang Penyaluran Tanpa Kait Dengan Panjang Penyaluran Menggunakan *Clamp*

Panjang penyaluran L_d , dinyatakan dalam diameter d_b untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.2.(2) atau pasal 14.2.(3), tetapi L_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

Tabel 4.7. Kondisi $c/db = 2,5$ dapat dipenuhi
(sumber : hasil analisis)

Tulangan fy = 400 Mpa	Panjang Penyaluran Tarik Tanpa Kait Minimum =Ld min (cm)					Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp sampai kondisi baja leleh, untuk semua Mutu beton (cm)	Prediksi kemungkinan Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp untuk mencapai 125% kuat leleh tulangan, untuk semua mutu beton (cm)
	Untuk Berbagai Mutu Beton Normal						
kondisi (c/db) =2,5 dapat dipenuhi							
Rumus yang digunakan: $L_d = db \cdot \frac{9 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma}{25 \cdot \sqrt{f_c'} (c/db)}$							
Diameter	K-225 fc'=18 MPa	K-250 fc'=20 MPa	K-300 fc'=24 MPa	K-350 fc'=28 MPa	K-400 fc'=32 MPa		
13 mm	40	35	35	30	30	30 (3 pasang clamp)	40 (4 pasang clamp)
16 mm	45	45	40	35	35	40 (4 pasang clamp)	45 (5 pasang clamp)
19 mm	55	50	45	45	40	50 (5 pasang clamp)	70 (7 pasang clamp)

Berdasarkan hasil hitungan Tabel 4.7. dapat dijelaskan bahwa panjang penyaluran dengan menggunakan rumus L_d memenuhi kondisi $c/db = 2,5$, maka panjang penyaluran yang dibutuhkan mayoritas hampir sama dengan menggunakan *clamp*.

Tabel 4.8. kondisi $c/db = 1,5$ dapat dipenuhi
(sumber : hasil analisa)

Tulangan fy = 400 Mpa	Panjang Penyaluran Tarik Tanpa Kait Minimum =Ld min (cm) Untuk Berbagai Mutu Beton Normal					Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp sampai kondisi baja leleh, untuk semua Mutu beton (cm)	Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp untuk semua Mutu beton (cm)
	kondisi (c/db) =1,5 dapat dipenuhi						
Rumus yang digunakan: $L_d = db \cdot \frac{12 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta}{25 \cdot \sqrt{f_c}}$ atau $L_d = db \cdot \frac{0,480 \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$							
Diameter	K-225 fc'=18 MPa	K-250 fc'=20 MPa	K-300 fc'=24 MPa	K-350 fc'=28 MPa	K-400 fc'=32 MPa		
13 mm	60	60	55	50	45	30 (3 pasang clamp)	40 (4 pasang clamp)
16 mm	75	70	65	60	55	40 (4 pasang clamp)	45 (5 pasang clamp)
19 mm	90	85	75	70	65	50 (5 pasang clamp)	70 (7 pasang clamp)

Berdasarkan hasil hitungan Tabel 4.8. dapat dijelaskan bahwa panjang penyaluran dengan menggunakan rumus L_d memenuhi kondisi $c/db = 1,5$, maka panjang penyaluran yang dibutuhkan dengan menggunakan *clamp* mayoritas lebih pendek dan lebih ekonomis dalam penggunaan tulangan.

Tabel 4.9.kondisi tidak memenuhi jarak tulangan dan selimut beton (sumber : hasil analisa)

Tulangan f_y = 400 Mpa	Panjang Penyaluran Tarik Tanpa Kait Minimum = L_d min (cm) Untuk Berbagai Mutu Beton Normal					Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp sampai kondisi baja leleh, untuk semua Mutu beton (cm)	Panjang total penyaluran yang terpakai Dengan menggunakan clamp untuk semua Mutu beton (cm)
	kondisi tidak memenuhi jarak tulangan dan selimut beton min; (c/db) = 1 dapat dipenuhi						
Rumus yang digunakan: $L_d = db \cdot \frac{18 f_y \alpha \beta}{25 \sqrt{f'c}}$ atau $L_d = db \cdot \frac{0,720 f_y}{\sqrt{f'c}}$							
Diameter	K-225 $f'c=18$ MPa	K-250 $f'c=20$ MPa	K-300 $f'c=24$ MPa	K-350 $f'c=28$ MPa	K-400 $f'c=32$ MPa		
13 mm	90	85	80	75	70	30 (3 pasang clamp)	40 (4 pasang clamp)
16 mm	110	105	95	90	85	40 (4 pasang clamp)	45 (5 pasang clamp)
19 mm	130	125	115	105	100	50 (5 pasang clamp)	70 (7 pasang clamp)

Berdasarkan hasil hitungan Tabel 4.9. dapat dijelaskan bahwa panjang penyaluran dengan menggunakan rumus L_d memenuhi kondisi $c/db = 1$, maka panjang penyaluran yang dibutuhkan dengan menggunakan *clamp* mayoritas lebih pendek dan lebih ekonomis dalam penggunaan tulangan.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian kuat tarik baja yang dilakukan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut:

- a. Berdasarkan dari hasil hitungan panjang penyaluran yang digunakan untuk kondisi selimut beton per diameter tulangan (c/db) = 2,5 panjang penyaluran yang dibutuhkan mayoritas hampir sama dengan menggunakan *clamp*, sedangkan untuk kondisi c/db = 1,5 panjang penyaluran yang dibutuhkan dengan menggunakan *clamp* mayoritas lebih pendek, dan pada kondisi c/db = 1 panjang penyaluran yang dibutuhkan dengan menggunakan *clamp* mayoritas lebih pendek. Jadi dapat disimpulkan panjang penyaluran dengan menggunakan *clamp* lebih ekonomis dalam penggunaan tulangan.
- b. Dari berbagai parameter yang di uji yaitu D13 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 3 *clamp* dengan kekencangan baut yang sama sebesar 25 lb-ft (32,625 Nm), untuk D16 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 4 *clamp* dengan kekencangan baut yang sama sebesar 35 lb-ft (45,675 Nm), dan untuk D19 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 5 *clamp* dengan kekencangan baut yang sama sebesar 45 lb-ft (58,725 Nm). dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan signifikan sesuai dengan jumlah *clamp* yang dipasang.

- c. Dari berbagai variasi jumlah *clamp* yang di uji besar peningkatan setiap variasi jumlah clamp rata-rata untuk D13 mm sebesar 2,67 ton dengan kekencangan baut 25 lb-ft (32,625 Nm), untuk D16 mm sebesar 3,14 ton dengan kekencangan baut 35 lb-ft (45,675 Nm), untuk D19 mm sebesar 2,75 ton dengan kekencangan baut 45 lb-ft (58,725 Nm). Jadi dapat disimpulkan untuk setiap sambungan jika jumlah connector (*clamp*) semakin banyak maka akan semakin tinggi kuat tariknya dan kegagalan di tulangan akan semakin mungkin.
- d. Dalam penelitian ini hasil uji kuat tarik sambungan *clamp* yang didapat paling besar yaitu, untuk D13 mm sebesar 545,41 MPa menggunakan 3 *clamp*, untuk D16 mm sebesar 571, 34 MPa dengan menggunakan 4 *clamp*, untuk D19 mm sebesar 478,08 MPa dengan menggunakan 5 *clamp*. Dari hasil penelitian yang dilakukan semua diameter tulangan dengan menggunakan variasi *clamp* untuk D13 mm sebanyak 3 *clamp*, untuk D16 mm sebanyak 4 *clamp* , untuk D19 mm sebanyak 5 *clamp*, sudah mengalami leleh pada tulangan yang disambung hal ini diketahui dengan melihat bentuk grafik yang dihasilkan dan dengan bahan perbandingan antara hasil uji kuat tarik yang disambung menggunakan *clamp* dengan hasil uji kuat tarik tulangan yang masih utuh.

Namun hasil penelitian yang dilakukan untuk D13 mm dengan menggunakan 3 pasang *clamp* masih belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)), tetapi akan tetap bisa digunakan jika memenuhi persyaratan SNI-03-2847-2002 pasal 14.15.(4). Untuk D16 mm dengan menggunakan 4 pasang *clamp* dianggap sudah memenuhi

syarat SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)). Dan untuk D19 mm belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)).

5.2. Saran

Pada penelitian ini, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan agar kemungkinan tersebut dapat diperbaiki dikemudian hari antara lain:

- Bentuk dari *connector (clamp)* akan sangat menentukan hasil dari penelitian sehingga desain awal, pembuatan dan bentuk *connector* harus mendapatkan perhatian disetiap tahapannya.
- Agar mendapatkan perilaku dan hasil yang memiliki tingkat validitas tinggi maka perlu difikirkan untuk menambah variasi dan pengulangan specimen.
- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan *specimen* sambungan sebaik mungkin dan seekonims mungkin.

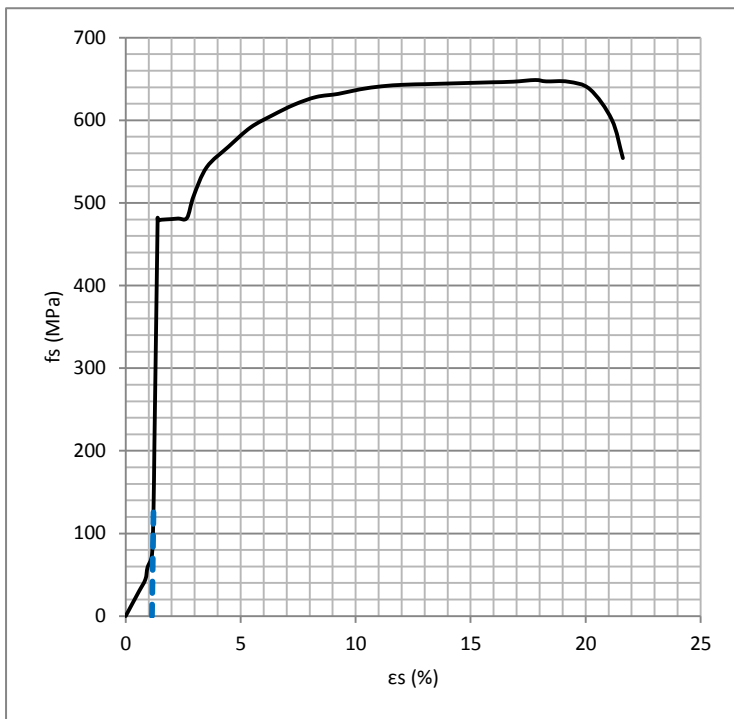
LAMPIRAN 1

HASIL ANALISA KUAT TARIK BAJA TULANGAN

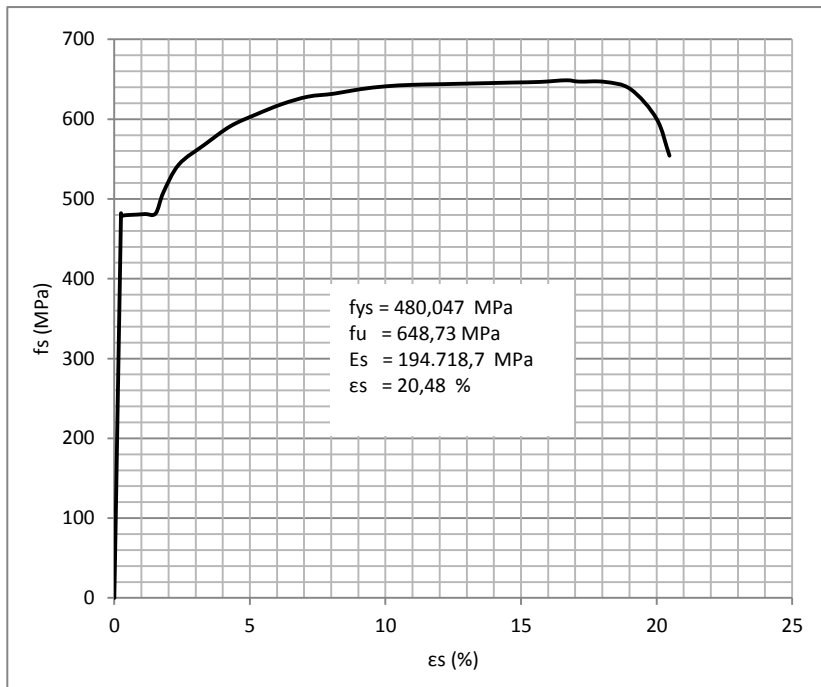
1. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm

Tabel L1.1. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1750.00	17167.50	0.07	105	132.73	129.34	0.07	190678.89
2800.00	27468.00	0.11	105	132.73	206.94	0.11	193890.47
4125.00	40466.25	0.16	105	132.73	304.87	0.16	194225.98
6000.00	58860.00	0.24	105	132.73	443.45	0.23	194508.7
6523.79	63998.42	0.26	105	132.73	482.16	0.25	194718.67
6480.00	63568.80	0.27	105	132.73	478.92	0.26	186248.14
6490.79	63674.69	0.45	105	132.73	479.72	0.43	111935.03
6500.00	63765.00	0.88	105	132.73	480.40	0.83	57648.234
6510.00	63863.10	1.20	105	132.73	481.14	1.14	42099.84
6520.00	63961.20	1.60	105	132.73	481.88	1.52	31623.382
6875.80	67451.60	1.90	105	132.73	508.18	1.81	28083.442
7350.00	72103.50	2.50	105	132.73	543.22	2.38	22815.397
7687.50	75414.38	3.50	105	132.73	568.17	3.33	17045.031
8000.00	78480.00	4.50	105	132.73	591.26	4.29	13796.159
8200.00	80442.00	5.50	105	132.73	606.05	5.24	11569.96
8375.00	82158.75	6.50	105	132.73	618.98	6.19	9998.8986
8500.00	83385.00	7.50	105	132.73	628.22	7.14	8795.0511
8550.00	83875.50	8.50	105	132.73	631.91	8.10	7805.9883
8625.00	84611.25	9.50	105	132.73	637.46	9.05	7045.5711
8675.00	85101.75	10.50	105	132.73	641.15	10.00	6411.5183
8700.00	85347.00	11.50	105	132.73	643.00	10.95	5870.8653
8710.00	85445.10	12.50	105	132.73	643.74	11.90	5407.4044
8720.00	85543.20	13.50	105	132.73	644.48	12.86	5012.6043
8730.00	85641.30	14.50	105	132.73	645.22	13.81	4672.2594
8740.00	85739.40	15.50	105	132.73	645.96	14.76	4375.83
8750.00	85837.50	16.50	105	132.73	646.69	15.71	4115.3314
8777.53	86107.55	17.50	105	132.73	648.73	16.67	3892.3768
8755.00	85886.55	18.00	105	132.73	647.06	17.14	3774.5428
8750.00	85837.50	19.00	105	132.73	646.69	18.10	3573.8404
8625.00	84611.25	20.00	105	132.73	637.46	19.05	3346.6463
8125.00	79706.25	21.00	105	132.73	600.50	20.00	3002.5122
7499.00	73565.19	21.50	105	132.73	554.24	20.48	2706.7341



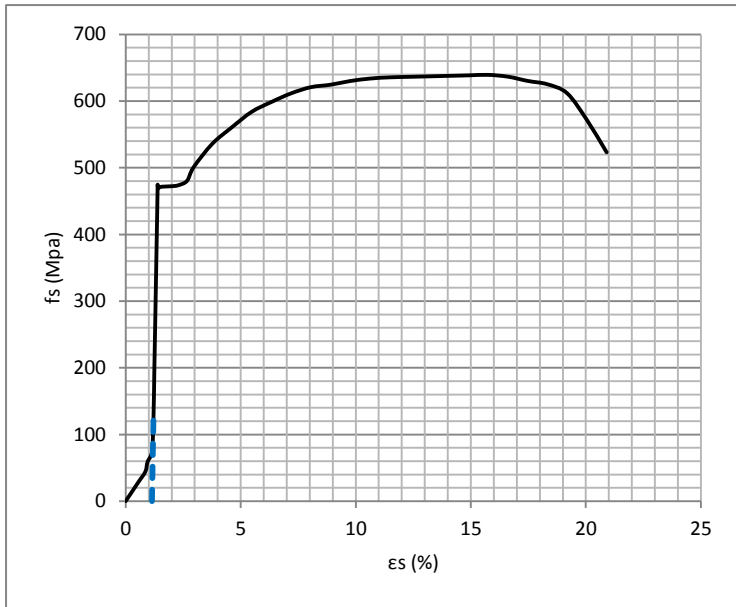
Gambar L1.1. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm sebelum disesuaikan



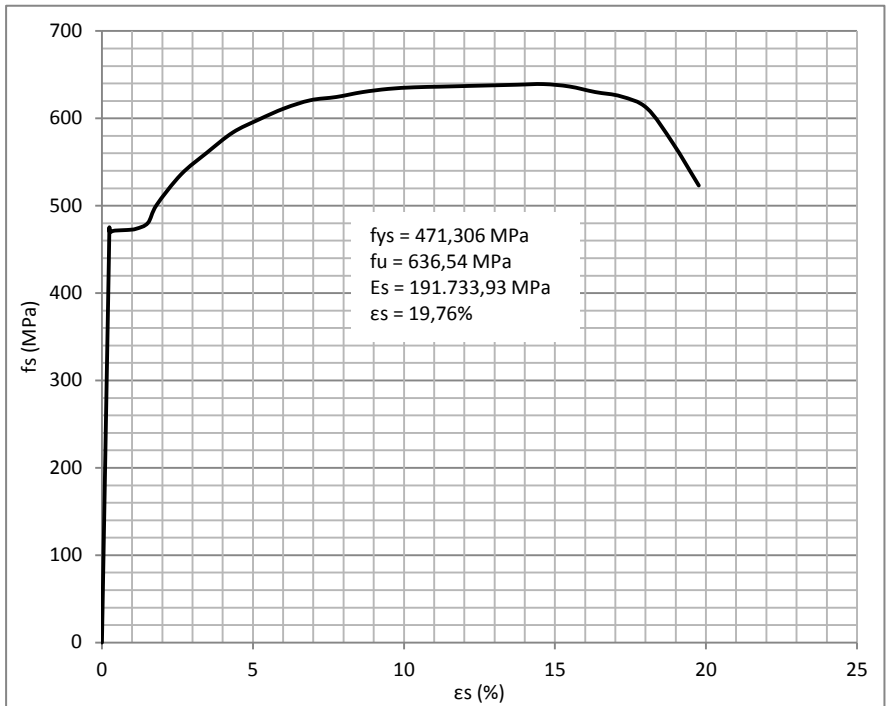
Gambar L1.2. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm setelah disesuaikan

Tabel L1.2. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1650.00	16186.50	0.07	105.00	132.73	121.95	0.06	190455.89
2700.00	26487.00	0.11	105.00	132.73	199.55	0.10	190456.87
4025.00	39485.25	0.16	105.00	132.73	297.48	0.16	190545.98
5900.00	57879.00	0.24	105.00	132.73	436.06	0.23	190775.01
6423.79	63017.42	0.26	105.00	132.73	474.77	0.25	191733.93
6360.00	62391.60	0.27	105.00	132.73	470.05	0.26	182799.10
6380.79	62595.59	0.45	105.00	132.73	471.59	0.43	110038.06
6390.00	62685.90	0.88	105.00	132.73	472.27	0.83	56672.65
6410.00	62882.10	1.20	105.00	132.73	473.75	1.14	41453.15
6500.00	63765.00	1.60	105.00	132.73	480.40	1.52	31526.38
6775.80	66470.60	1.90	105.00	132.73	500.79	1.81	27675.00
7250.00	71122.50	2.75	105.00	132.73	535.83	2.62	20459.08
7587.50	74433.38	3.65	105.00	132.73	560.78	3.48	16131.94
7900.00	77499.00	4.55	105.00	132.73	583.87	4.33	13474.00
8100.00	79461.00	5.45	105.00	132.73	598.65	5.19	11533.72
8275.00	81177.75	6.35	105.00	132.73	611.59	6.05	10112.88
8400.00	82404.00	7.25	105.00	132.73	620.83	6.90	8991.29
8450.00	82894.50	8.15	105.00	132.73	624.52	7.76	8046.00
8525.00	83630.25	9.05	105.00	132.73	630.07	8.62	7310.15
8575.00	84120.75	9.95	105.00	132.73	633.76	9.48	6687.93
8600.00	84366.00	10.85	105.00	132.73	635.61	10.33	6151.05
8610.00	84464.10	11.75	105.00	132.73	636.35	11.19	5686.51
8620.00	84562.20	12.65	105.00	132.73	637.09	12.05	5288.07
8630.00	84660.30	13.55	105.00	132.73	637.83	12.90	4942.56
8640.00	84758.40	14.45	105.00	132.73	638.57	13.76	4640.09
8650.00	84856.50	15.35	105.00	132.73	639.30	14.62	4373.09
8677.53	85126.55	16.25	105.00	133.73	636.54	15.48	4113.05
8655.00	84905.55	17.15	105.00	134.73	630.18	16.33	3858.23
8650.00	84856.50	18.05	105.00	135.73	625.17	17.19	3636.75
8525.00	83630.25	18.95	105.00	136.73	611.63	18.05	3389.00
8025.00	78725.25	19.85	105.00	137.73	571.58	18.90	3023.47
7399.00	72584.19	20.75	105.00	138.73	523.19	19.76	2647.49



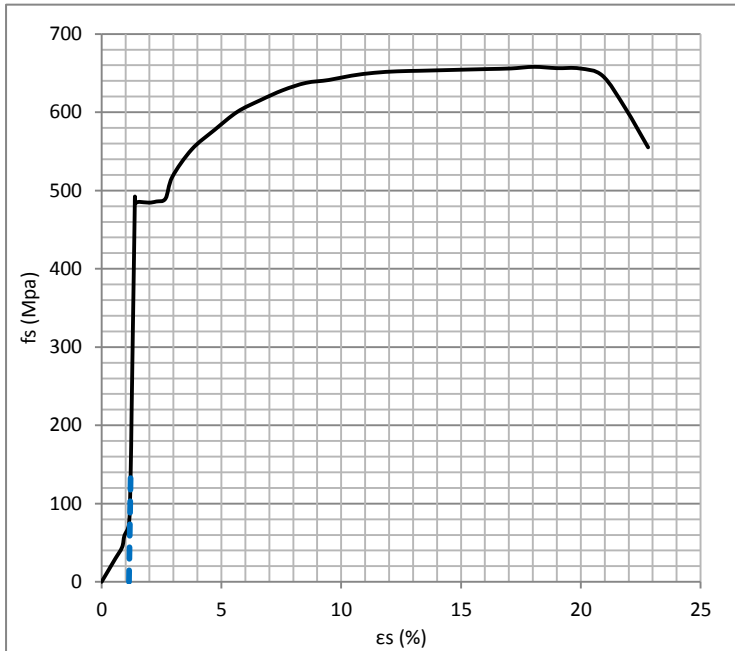
Gambar L1.3. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm sebelum disesuaikan



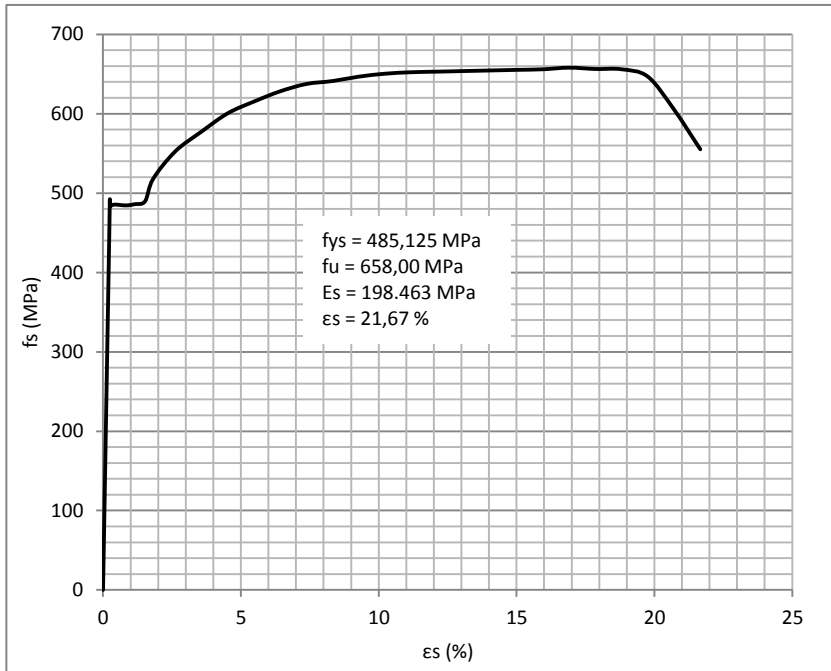
Gambar L1.4. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm setelah disesuaikan

Tabel L1.3. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1875.45	18398.16	0.07	105	132.73	138.61	0.07	196986.98
2925.45	28698.66	0.11	105	132.73	216.21	0.11	197854.87
4250.45	41696.91	0.17	105	132.73	314.14	0.16	197894.98
6125.45	60090.66	0.24	105	132.73	452.72	0.23	198064.87
6649.24	65229.08	0.26	105	132.73	491.43	0.25	198463.03
6555.45	64308.96	0.27	105	132.73	484.50	0.26	188416.72
6569.24	64444.28	0.45	105	132.73	485.52	0.43	113287.92
6555.45	64308.96	0.88	105	132.73	484.50	0.83	58140.018
6575.45	64505.16	1.20	105	132.73	485.98	1.14	42523.102
6625.45	64995.66	1.60	105	132.73	489.67	1.52	32134.837
7001.25	68682.26	1.90	105	132.73	517.45	1.81	28595.829
7475.45	73334.16	2.75	105	132.73	552.50	2.62	21095.283
7812.95	76645.04	3.75	105	132.73	577.44	3.57	16168.305
8125.45	79710.66	4.75	105	132.73	600.54	4.52	13275
8325.45	81672.66	5.75	105	132.73	615.32	5.48	11236.229
8500.45	83389.41	6.75	105	132.73	628.25	6.43	9772.7964
8625.45	84615.66	7.75	105	132.73	637.49	7.38	8636.9571
8675.45	85106.16	8.75	105	132.73	641.19	8.33	7694.2211
8750.45	85841.91	9.75	105	132.73	646.73	9.29	6964.7652
8800.45	86332.41	10.75	105	132.73	650.42	10.24	6352.9746
8825.45	86577.66	11.75	105	132.73	652.27	11.19	5828.8073
8835.45	86675.76	12.75	105	132.73	653.01	12.14	5377.7325
8845.45	86773.86	13.75	105	132.73	653.75	13.10	4992.2685
8855.45	86871.96	14.75	105	132.73	654.49	14.05	4659.0709
8865.45	86970.06	15.75	105	132.73	655.23	15.00	4368.1841
8875.45	87068.16	16.75	105	132.73	655.97	15.95	4112.03
8902.98	87338.21	17.75	105	132.73	658.00	16.90	3892.4016
8880.45	87117.21	18.75	105	132.73	656.34	17.86	3675.4829
8875.45	87068.16	19.75	105	132.73	655.97	18.81	3487.4179
8750.45	85841.91	20.75	105	132.73	646.73	19.76	3272.6005
8250.45	80936.91	21.75	105	133.73	605.21	20.71	2921.7254
7624.45	74795.85	22.75	105	134.73	555.14	21.67	2562.1983



Gambar L1.5. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm sebelum disesuaikan

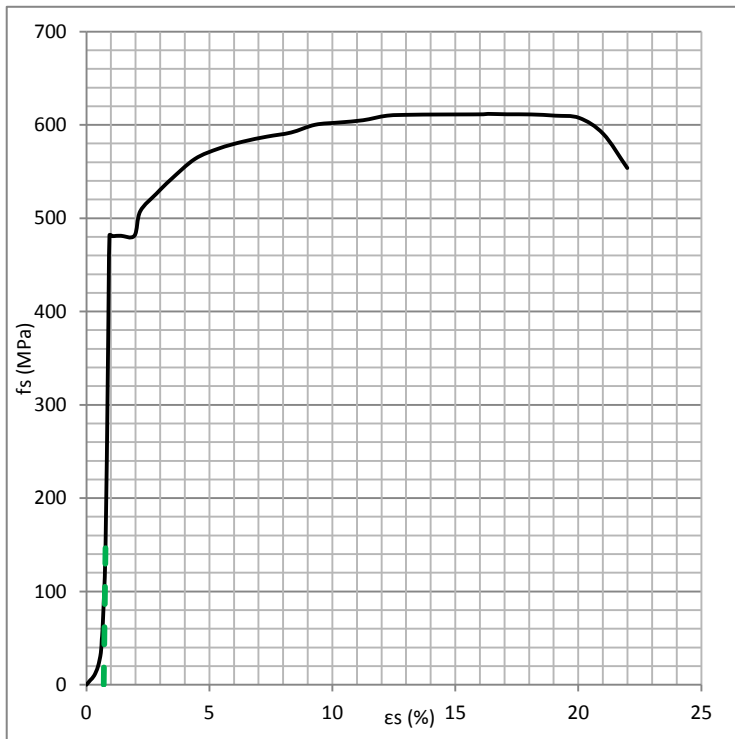


Gambar L1.6. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm setelah disesuaikan

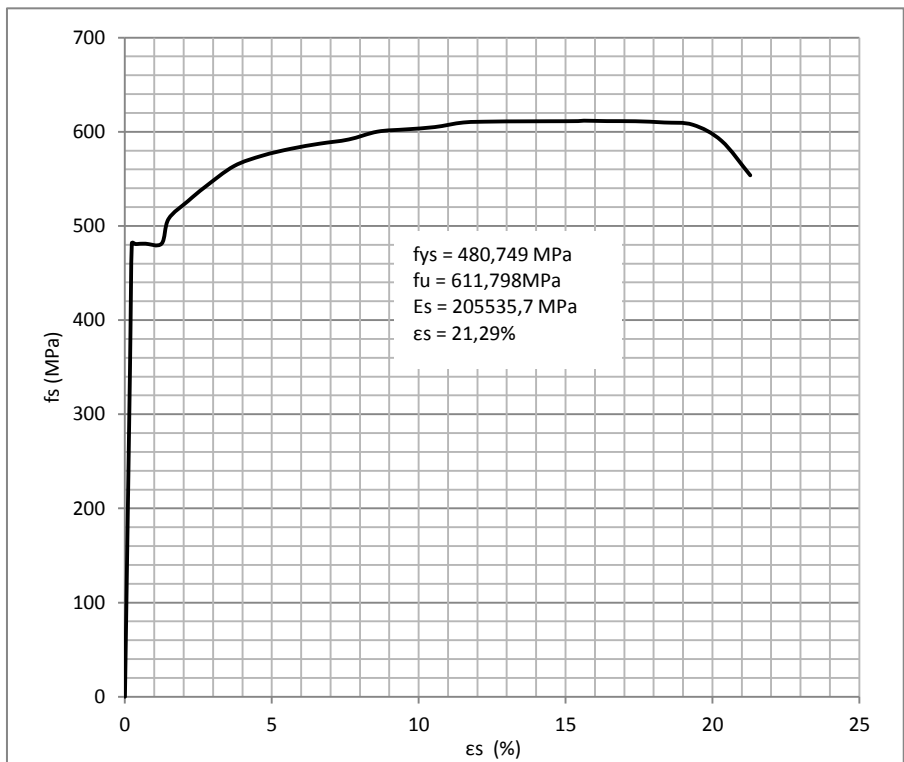
2. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm

Tabel L1.4. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) 100$ (%)	E (Mpa)
0	0.0	0	0	0	0	0	0
3000	29430.0	0.09	128	201.06	146.3725	0.07	200128.43
7100	69651.0	0.22	128	201.06	346.4148	0.17	202218.75
9873.26	96856.7	0.3	128	201.06	481.7244	0.23	205535.74
9853.26	96660.5	0.45	128	201.06	480.7486	0.35	136746.26
9860.26	96729.1	0.65	128	201.06	481.0901	0.51	94737.744
9862.26	96748.8	0.9	128	201.06	481.1877	0.70	68435.582
9863.26	96758.6	1.6	128	201.06	481.2365	1.25	38498.918
10400	102024.0	1.9	128	201.06	507.4246	1.48	34184.391
10790	105849.9	2.75	128	201.06	526.453	2.15	24503.993
11100	108891.0	3.5	128	201.06	541.5781	2.73	19806.286
11550	113305.5	4.75	128	201.06	563.534	3.71	15185.759
11780	115561.8	6	128	201.06	574.7559	4.69	12261.459
11930	117033.3	7.25	128	201.06	582.0745	5.66	10276.626
12040	118112.4	8.5	128	201.06	587.4415	6.64	8846.178
12130	118995.3	9.75	128	201.06	591.8327	7.62	7769.7009
12300	120663.0	11	128	201.06	600.1271	8.59	6983.2975
12350	121153.5	12.25	128	201.06	602.5667	9.57	6296.2068
12400	121644.0	13.5	128	201.06	605.0062	10.55	5736.3551
12500	122625.0	14.75	128	201.06	609.8853	11.52	5292.5639
12520	122821.2	16	128	201.06	610.8611	12.50	4886.8888
12525	122870.3	17.25	128	201.06	611.1051	13.48	4534.5767
12527	122889.9	18.5	128	201.06	611.2026	14.45	4228.8615
12530	122919.3	19.75	128	201.06	611.349	15.43	3962.1607
12539.21	123009.6	20	128	201.06	611.7982	15.63	3915.5082
12530	122919.3	21	128	201.06	611.349	16.41	3726.3178
12527	122889.9	22.25	128	201.06	611.2026	17.38	3516.1321
12500	122625.0	23.5	128	201.06	609.8853	18.36	3321.9284
12450	122134.5	24.75	128	201.06	607.4457	19.34	3141.5376
12100	118701.0	26	128	201.06	590.369	20.31	2906.4318
11350	111343.5	27.25	128	201.06	553.7758	21.29	2601.2223



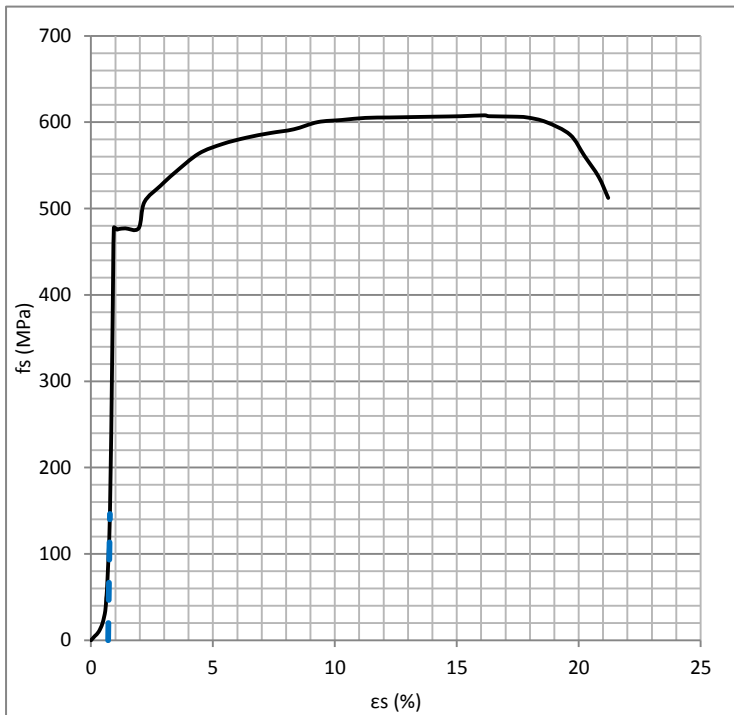
Gambar L1.7. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm sebelum disesuaikan



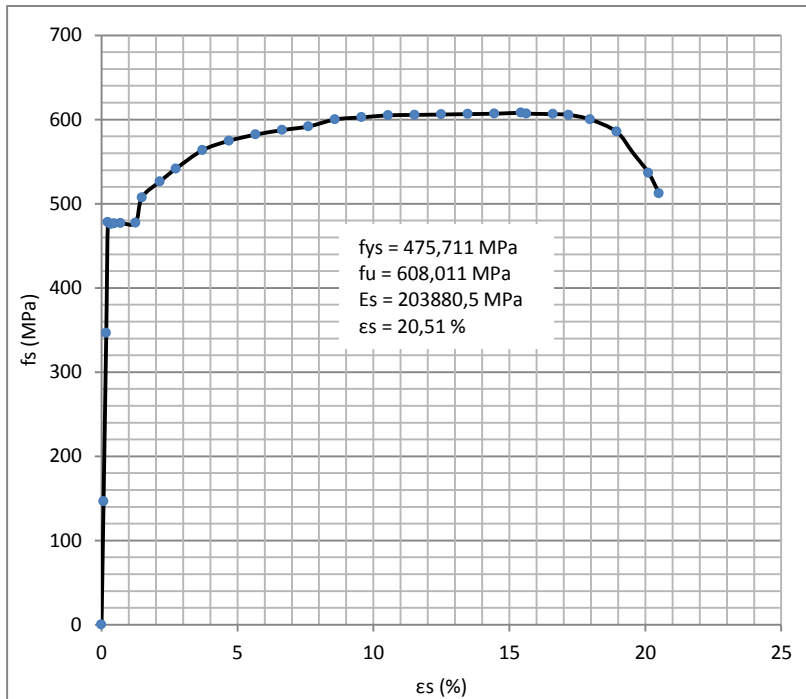
Gambar L1.8. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm setelah disesuaikan

Tabel L1.5. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (Mpa)
0	0.0	0	0	0	0	0	0
3000	29430.0	0.09	128	201.06	146.3725	0.07	200076.51
7100	69651.0	0.22	128	201.06	346.4148	0.17	200176.84
9793.746	96076.7	0.3	128	201.06	477.8449	0.23	203880.51
9750.000	95647.5	0.45	128	201.06	475.7105	0.35	135313.22
9765.000	95794.7	0.6	128	201.06	476.4424	0.47	101641.04
9778.000	95922.2	0.9	128	201.06	477.0767	0.70	67850.904
9780.746	95949.1	1.6	128	201.06	477.2107	1.25	38176.853
10400	102024.0	1.9	128	201.06	507.4246	1.48	34184.391
10790	105849.9	2.75	128	201.06	526.453	2.15	24503.993
11100	108891.0	3.5	128	201.06	541.5781	2.73	19806.286
11550	113305.5	4.75	128	201.06	563.534	3.71	15185.759
11780	115561.8	6	128	201.06	574.7559	4.69	12261.459
11930	117033.3	7.25	128	201.06	582.0745	5.66	10276.626
12040	118112.4	8.5	128	201.06	587.4415	6.64	8846.178
12130	118995.3	9.75	128	201.06	591.8327	7.62	7769.7009
12300	120663.0	11	128	201.06	600.1271	8.59	6983.2975
12350	121153.5	12.25	128	201.06	602.5667	9.57	6296.2068
12400	121644.0	13.5	128	201.06	605.0062	10.55	5736.3551
12410	121742.1	14.75	128	201.06	605.4941	11.52	5254.4574
12420	121840.2	16	128	201.06	605.982	12.50	4847.8562
12430	121938.3	17.25	128	201.06	606.4699	13.48	4500.1827
12440	122036.4	18.5	128	201.06	606.9578	14.45	4199.4921
12461.58446	122248.1	19.75	128	201.06	608.011	15.43	3940.5268
12440	122036.4	20	128	201.06	606.9578	15.63	3884.5302
12430	121938.3	21.25	128	201.06	606.4699	16.60	3653.0895
12410	121742.1	22	128	201.06	605.4941	17.19	3522.8749
12300	120663.0	23	128	201.06	600.1271	17.97	3339.8379
12000	117720.0	24.25	128	201.06	585.4899	18.95	3090.4208
11500	112815.0	25	128	201.06	561.0945	19.53	2872.8037
11000	107910.0	25.75	128	201.06	536.6991	20.12	2667.8633
10500	103005.0	26.25	128	201.06	512.3036	20.51	2498.0901



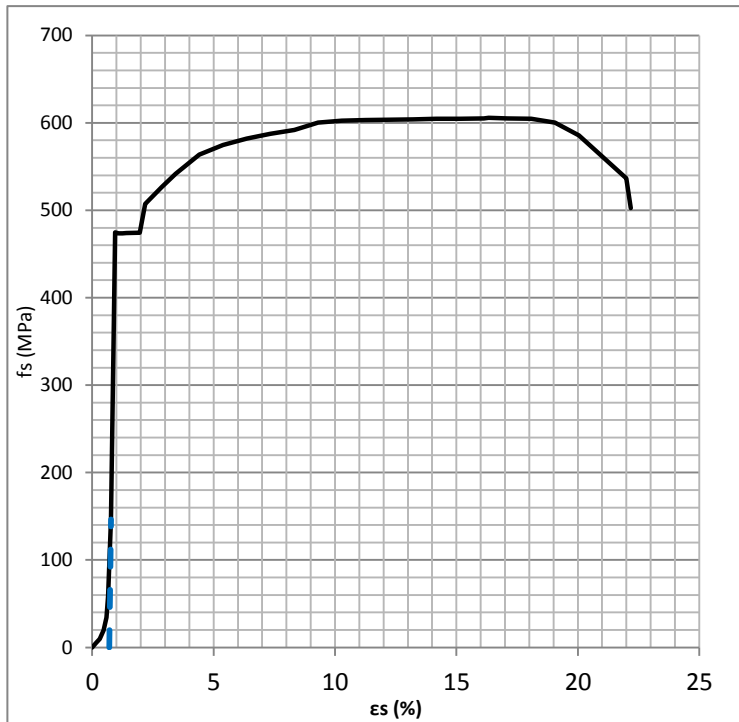
Gambar L1.9. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm sebelum disesuaikan



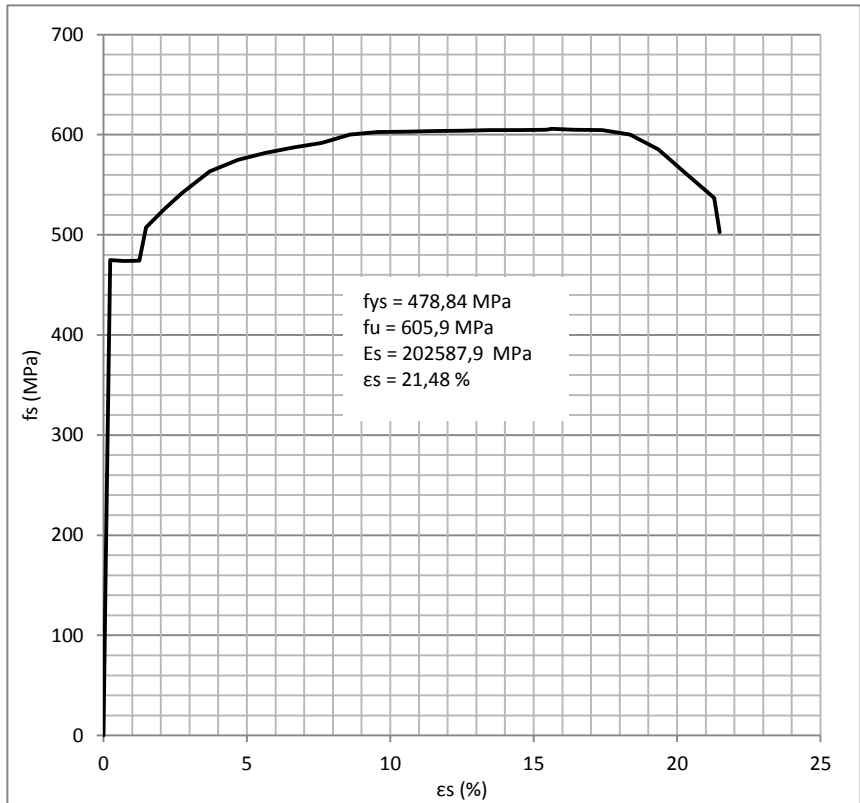
Gambar L1.10. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm setelah disesuaikan

Tabel L1.6. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0.0	0	0	0	0	0	0
3000	29430.0	0.1	128	201.06	146.3725	0.07	199987.28
7100	69651.0	0.2	128	201.06	346.4148	0.17	199976.43
9731.65	95467.5	0.3	128	201.06	474.8154	0.23	202587.9
9707.65	95232.1	0.5	128	201.06	473.6444	0.39	121252.97
9710.65	95261.5	0.7	128	201.06	473.7908	0.55	86636.028
9711.65	95271.3	0.9	128	201.06	473.8396	0.70	67390.516
9721.65	95369.4	1.6	128	201.06	474.3275	1.25	37946.198
10400	102024.0	1.9	128	201.06	507.4246	1.48	34184.391
10790	105849.9	2.75	128	201.06	526.453	2.15	24503.993
11100	108891.0	3.5	128	201.06	541.5781	2.73	19806.286
11550	113305.5	4.75	128	201.06	563.534	3.71	15185.759
11780	115561.8	6	128	201.06	574.7559	4.69	12261.459
11930	117033.3	7.25	128	201.06	582.0745	5.66	10276.626
12040	118112.4	8.5	128	201.06	587.4415	6.64	8846.178
12130	118995.3	9.75	128	201.06	591.8327	7.62	7769.7009
12300	120663.0	11	128	201.06	600.1271	8.59	6983.2975
12350	121153.5	12.25	128	201.06	602.5667	9.57	6296.2068
12360	121251.6	13.5	128	201.06	603.0546	10.55	5717.8508
12370	121349.7	14.75	128	201.06	603.5425	11.52	5237.5212
12380	121447.8	16	128	201.06	604.0304	12.50	4832.2431
12390	121545.9	17.25	128	201.06	604.5183	13.48	4485.701
12395	121595.0	18.5	128	201.06	604.7623	14.45	4184.301
12400	121644.0	19.75	128	201.06	605.0062	15.43	3921.0529
12418.32	121823.7	20	128	201.06	605.9	15.63	3877.7599
12400	121644.0	21	128	201.06	605.0062	16.41	3687.6569
12390	121545.9	22.25	128	201.06	604.5183	17.38	3477.6783
12300	120663.0	23.5	128	201.06	600.1271	18.36	3268.7775
12000	117720.0	24.75	128	201.06	585.4899	19.34	3027.9881
11500	112815.0	26	128	201.06	561.0945	20.31	2762.3112
11000	107910.0	27.25	128	201.06	536.6991	21.29	2521.0084
10300	101043.0	27.5	128	201.06	502.5455	21.48	2339.1208



Gambar L1.11. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm sebelum disesuaikan

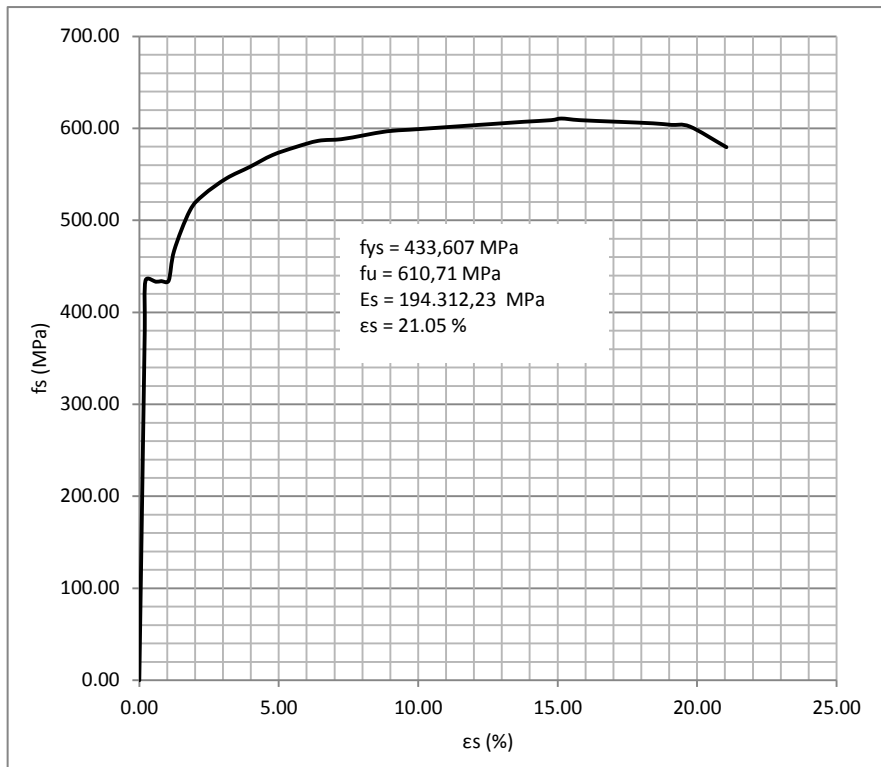


Gambar L1.12. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm setelah disesuaikan

3. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm

Tabel L1.7. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm

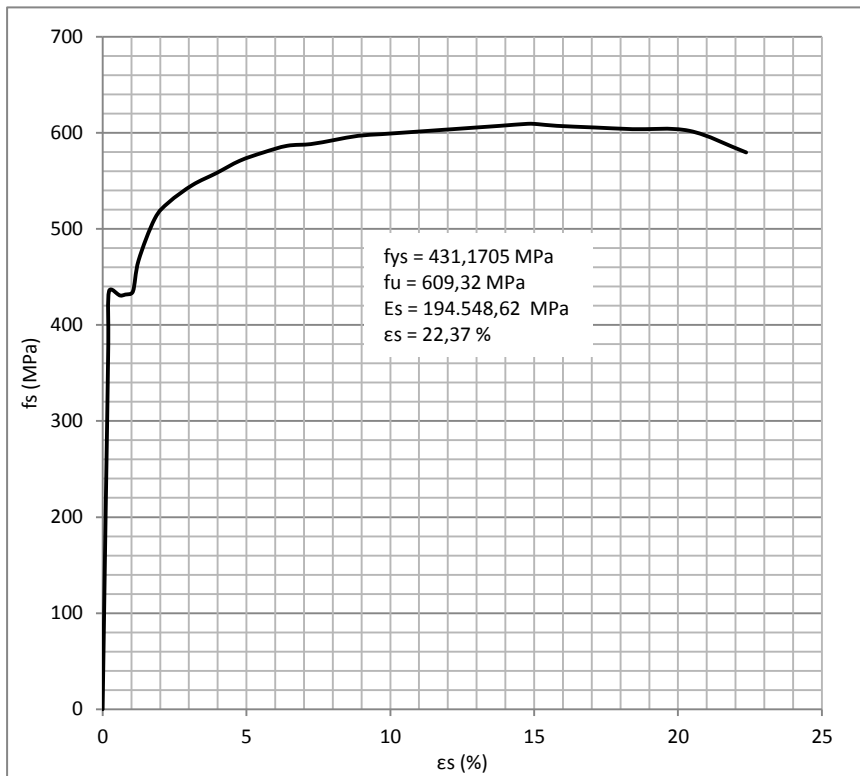
P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (Mpa)
0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1500.00	14715.00	0.04	152	283.53	51.90	0.03	193256.94
3250.00	31882.50	0.09	152	283.53	112.45	0.06	194123.86
5875.00	57633.75	0.16	152	283.53	203.27	0.10	194216.92
8625.00	84611.25	0.23	152	283.53	298.42	0.15	194221.78
11000.00	107910.00	0.30	152	283.53	380.60	0.20	194259.76
12562.17	123234.86	0.34	152	283.53	434.65	0.22	194312.23
12522.17	122842.46	0.9	152	283.53	433.26	0.59	73173.10
12542.17	123038.66	1.2	152	283.53	433.95	0.79	54967.48
12555.00	123164.55	1.6	152	283.53	434.40	1.05	41267.79
13500.00	132435.00	1.9	152	283.53	467.09	1.25	37367.55
14750.00	144697.50	2.75	152	283.53	510.34	1.81	28208.10
15250.00	149602.50	3.5	152	283.53	527.64	2.30	22914.81
15770.00	154703.70	4.75	152	283.53	545.64	3.13	17460.34
16125.00	158186.25	6	152	283.53	557.92	3.95	14133.93
16500.00	161865.00	7.25	152	283.53	570.89	4.77	11969.07
16750.00	164317.50	8.5	152	283.53	579.54	5.59	10363.59
16950.00	166279.50	9.75	152	283.53	586.46	6.41	9142.81
17000.00	166770.00	11	152	283.53	588.19	7.24	8127.76
17125.00	167996.25	12.25	152	283.53	592.52	8.06	7352.06
17250.00	169222.50	13.5	152	283.53	596.84	8.88	6720.01
17300.00	169713.00	14.75	152	283.53	598.57	9.70	6168.34
17350.00	170203.50	16	152	283.53	600.30	10.53	5702.88
17400.00	170694.00	17.25	152	283.53	602.03	11.35	5304.87
17450.00	171184.50	18.5	152	283.53	603.76	12.17	4960.65
17500.00	171675.00	19.75	152	283.53	605.49	12.99	4659.99
17550.00	172165.50	21	152	283.53	607.22	13.82	4395.14
17600.00	172656.00	22.453	152	283.53	608.95	14.77	4122.43
17650.87	173155.01	23	152	283.53	610.71	15.13	4036.01
17600.00	172656.00	24	152	283.53	608.95	15.79	3856.70
17550.00	172165.50	26	152	283.53	607.22	17.11	3549.92
17500.00	171675.00	28	152	283.53	605.49	18.42	3286.96
17450	171184.50	29	152	283.53	603.76	19.08	3164.55
17400	170694.00	30	152	283.53	602.03	19.74	3050.30
16750	164317.50	32	152	283.53	579.54	21.05	2752.83



Gambar L1.7. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm

Tabel L1.8. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm

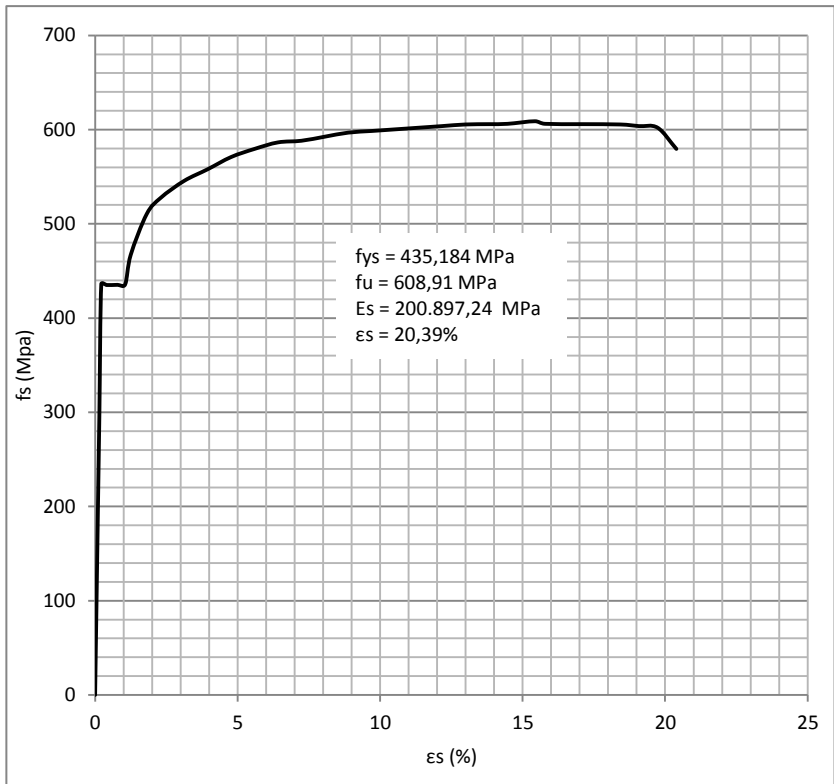
P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\bar{\sigma} = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1500.00	14715.00	0.04	152	283.53	51.90	0.03	193981.09
3250.00	31882.50	0.09	152	283.53	112.45	0.06	193991.76
5875.00	57633.75	0.16	152	283.53	203.27	0.10	194182.98
8625.00	84611.25	0.24	152	283.53	298.42	0.16	190045.09
11000.00	107910.00	0.3	152	283.53	380.60	0.20	192835.03
12577.45	123384.78	0.34	152	283.53	435.17	0.22	194548.62
12448.45	122119.29	0.9	152	283.53	430.71	0.59	72742.34
12475.00	122379.75	1.2	152	283.53	431.63	0.79	54673.11
12565.89	123271.35	1.6	152	283.53	434.77	1.05	41303.58
13500.00	132435.00	1.9	152	283.53	467.09	1.25	37367.55
14750.00	144697.50	2.75	152	283.53	510.34	1.81	28208.10
15250.00	149602.50	3.5	152	283.53	527.64	2.30	22914.81
15770.00	154703.70	4.75	152	283.53	545.64	3.13	17460.34
16125.00	158186.25	6	152	283.53	557.92	3.95	14133.93
16500.00	161865.00	7.25	152	283.53	570.89	4.77	11969.07
16750.00	164317.50	8.5	152	283.53	579.54	5.59	10363.59
16950.00	166279.50	9.75	152	283.53	586.46	6.41	9142.81
17000.00	166770.00	11	152	283.53	588.19	7.24	8127.76
17125.00	167996.25	12.25	152	283.53	592.52	8.06	7352.06
17250.00	169222.50	13.5	152	283.53	596.84	8.88	6720.01
17300.00	169713.00	14.75	152	283.53	598.57	9.70	6168.34
17350.00	170203.50	16	152	283.53	600.30	10.53	5702.88
17400.00	170694.00	17.25	152	283.53	602.03	11.35	5304.87
17450.00	171184.50	18.5	152	283.53	603.76	12.17	4960.65
17500.00	171675.00	19.75	152	283.53	605.49	12.99	4659.99
17550.00	172165.50	21	152	283.53	607.22	13.82	4395.14
17610.63	172760.33	22.453	152	283.53	609.32	14.77	4124.92
17600.00	172656.00	23	152	283.53	608.95	15.13	4024.38
17550.00	172165.50	24	152	283.53	607.22	15.79	3845.74
17500.00	171675.00	26	152	283.53	605.49	17.11	3539.80
17450.00	171184.50	28	152	283.53	603.76	18.42	3277.57
17400	170694.00	31	152	283.53	602.03	20.39	2951.90
16750	164317.50	34	152	283.53	579.54	22.37	2590.90



Gambar L1.8. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm

Tabel L1.9. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1500.00	14715.00	0.04	152	283.53	51.90	0.03	200045.32
3250.00	31882.50	0.09	152	283.53	112.45	0.06	199341.98
5875.00	57633.75	0.15	152	283.53	203.27	0.10	199873.91
8625.00	84611.25	0.23	152	283.53	298.42	0.15	198723.98
12605.89	123663.75	0.33	152	283.53	436.16	0.22	200897.24
12575.00	123360.75	0.6	152	283.53	435.09	0.39	110222.75
12580.45	123414.21	1.2	152	283.53	435.28	0.79	55135.26
12590.89	123516.60	1.6	152	283.53	435.64	1.05	41385.75
13500.00	132435.00	1.9	152	283.53	467.09	1.25	37367.55
14750.00	144697.50	2.75	152	283.53	510.34	1.81	28208.10
15250.00	149602.50	3.5	152	283.53	527.64	2.30	22914.81
15770.00	154703.70	4.75	152	283.53	545.64	3.13	17460.34
16125.00	158186.25	6	152	283.53	557.92	3.95	14133.93
16500.00	161865.00	7.25	152	283.53	570.89	4.77	11969.07
16750.00	164317.50	8.5	152	283.53	579.54	5.59	10363.59
16950.00	166279.50	9.75	152	283.53	586.46	6.41	9142.81
17000.00	166770.00	11	152	283.53	588.19	7.24	8127.76
17125.00	167996.25	12.25	152	283.53	592.52	8.06	7352.06
17250.00	169222.50	13.5	152	283.53	596.84	8.88	6720.01
17300.00	169713.00	14.75	152	283.53	598.57	9.70	6168.34
17350.00	170203.50	16	152	283.53	600.30	10.53	5702.88
17400.00	170694.00	17.25	152	283.53	602.03	11.35	5304.87
17450.00	171184.50	18.5	152	283.53	603.76	12.17	4960.65
17500.00	171675.00	19.75	152	283.53	605.49	12.99	4659.99
17510.00	171773.10	21	152	283.53	605.84	13.82	4385.12
17520.00	171871.20	22	152	283.53	606.18	14.47	4188.19
17598.87	172644.90	23.453	152	283.53	608.91	15.43	3946.40
17520.00	171871.20	24	152	283.53	606.18	15.79	3839.17
17510.00	171773.10	26	152	283.53	605.84	17.11	3541.83
17500.00	171675.00	28	152	283.53	605.49	18.42	3286.96
17450	171184.50	29	152	283.53	603.76	19.08	3164.55
17400	170694.00	30	152	283.53	602.03	19.74	3050.30
16750	164317.50	31	152	283.53	579.54	20.39	2841.63



Gambar L1.9. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm

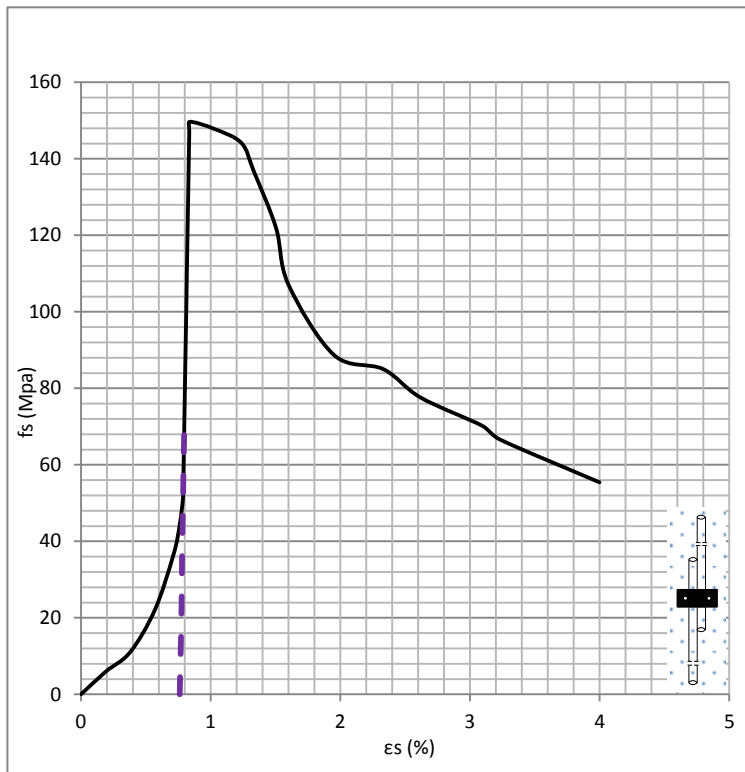
LAMPIRAN II

HASIL ANALISA KUAT TARIK BAJA TULANGAN YANG DISAMBUNG DENGAN *CLAMP* (SAMBUNGAN MEKANIS)

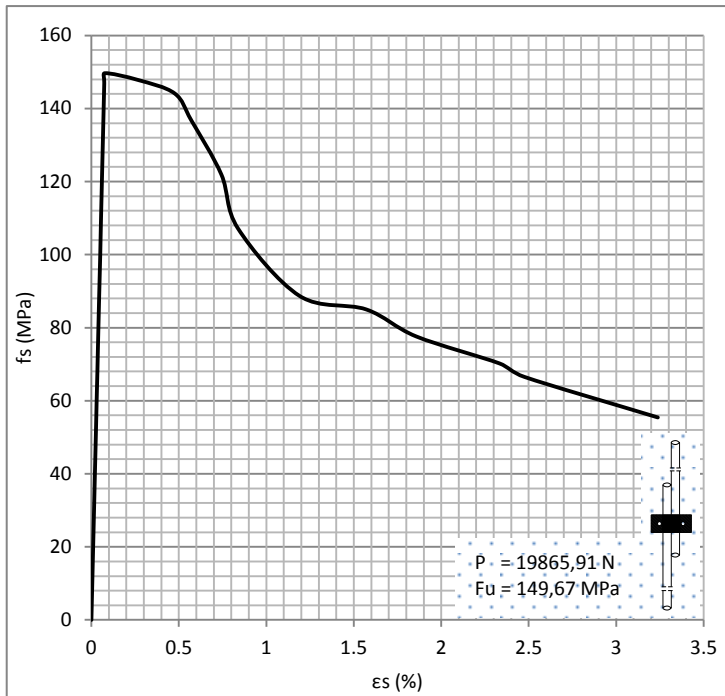
1. Diameter Tulangan Disambung D13 mm

Tabel LII.1. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm
yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0
375.00	3678.75	0.015	105	132.73	27.72	0.014	199892.98
495.00	4855.95	0.019	105	132.73	36.58	0.018	199976.34
600.00	5886.00	0.023	105	132.73	44.34	0.022	199848.39
700.00	6867.00	0.027	105	132.73	51.74	0.026	198799.47
800.00	7848.00	0.031	105	132.73	59.13	0.030	199967.98
925.00	9074.25	0.036	105	132.73	68.36	0.034	198699.81
1035.00	10153.35	0.040	105	132.73	76.49	0.038	199790.73
1198.50	11757.29	0.047	105	132.73	88.58	0.044	199684.89
1355.50	13297.46	0.053	105	132.73	100.18	0.05	197964.85
1480.00	14518.80	0.057	105	132.73	109.38	0.05	199965.43
1695.50	16632.86	0.066	105	132.73	125.31	0.06	199768.91
1989.00	19512.09	0.077	105	132.73	147.00	0.07	199897.91
2025.07	19865.91	0.079	105	132.73	149.67	0.07	199879.93
2000.00	19620.00	0.280	105	132.73	147.82	0.27	55430.994
1950.00	19129.50	0.500	105	132.73	144.12	0.48	30265.323
1850.00	18148.50	0.600	105	132.73	136.73	0.57	23927.713
1650.00	16186.50	0.780	105	132.73	121.95	0.74	16416.102
1450.00	14224.50	0.880	105	132.73	107.17	0.84	12786.923
1200.00	11772.00	1.250	105	132.73	88.69	1.19	7449.9256
1150.00	11281.50	1.650	105	132.73	84.99	1.57	5408.7213
1050.00	10300.50	1.950	105	132.73	77.60	1.86	4178.6442
950.00	9319.50	2.450	105	132.73	70.21	2.33	3009.1111
900.00	8829.00	2.600	105	132.73	66.52	2.48	2686.2713
750.00	7357.50	3.400	105	132.73	55.43	3.24	1711.8395



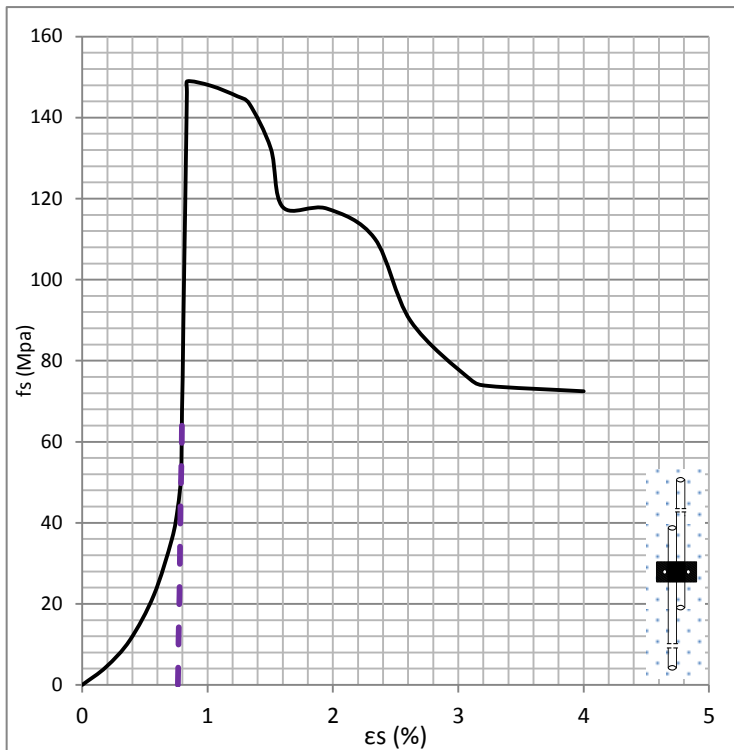
Gambar LII.1. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan.



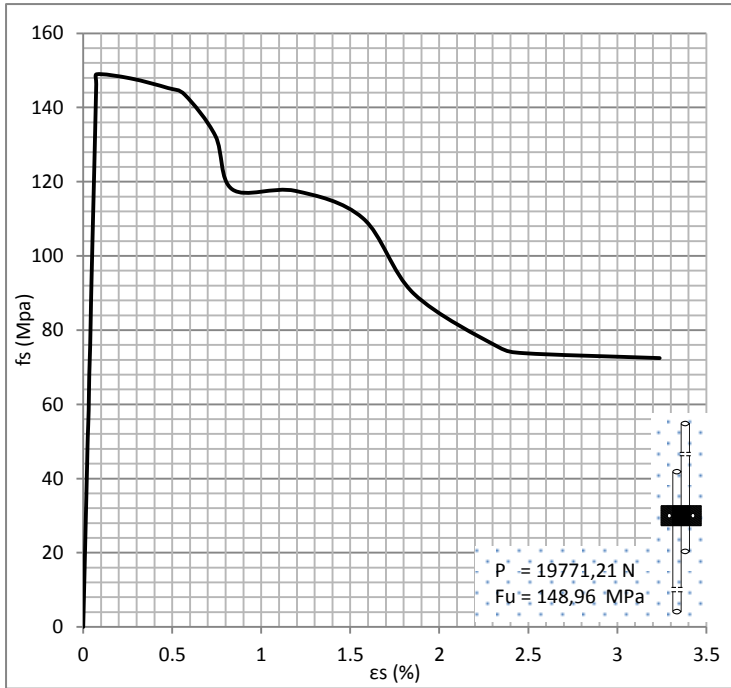
Gambar LII.2. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.2. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm
yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
365.35	3584.08	0.014	105	132.73	27.00	0.01	199456.2
485.35	4761.28	0.019	105	132.73	35.87	0.02	199921.9
590.35	5791.33	0.023	105	132.73	43.63	0.02	199821.8
690.35	6772.33	0.027	105	132.73	51.02	0.03	199820.2
790.35	7753.33	0.032	105	132.73	58.41	0.03	189923.1
915.35	8979.58	0.036	105	132.73	67.65	0.03	199921.1
1025.35	10058.68	0.041	105	132.73	75.78	0.04	193409.2
1188.85	11662.62	0.046	105	132.73	87.87	0.04	199320.2
1345.85	13202.79	0.052	105	132.73	99.47	0.05	199958.7
1470.35	14424.13	0.057	105	132.73	108.67	0.05	199748.2
1685.85	16538.19	0.066	105	132.73	124.60	0.06	198938.2
1979.35	19417.42	0.077	105	132.73	146.29	0.07	200152.7
2015.42	19771.24	0.078	105	132.73	148.96	0.07	200005.7
2000.35	19623.43	0.280	105	132.73	147.84	0.27	55440.69
1965.35	19280.08	0.500	105	132.73	145.26	0.48	30503.57
1940.35	19034.83	0.600	105	132.73	143.41	0.57	25096.29
1790.35	17563.33	0.780	105	132.73	132.32	0.74	17812.47
1595.35	15650.38	0.880	105	132.73	117.91	0.84	14068.7
1590.35	15601.33	1.250	105	132.73	117.54	1.19	9873.324
1490.35	14620.33	1.650	105	132.73	110.15	1.57	7009.468
1215.35	11922.58	1.950	105	132.73	89.82	1.86	4836.681
1020.35	10009.63	2.450	105	132.73	75.41	2.33	3231.944
998.35	9793.81	2.600	105	132.73	73.79	2.48	2979.821
980.35	9617.23	3.400	105	132.73	72.46	3.24	2237.603



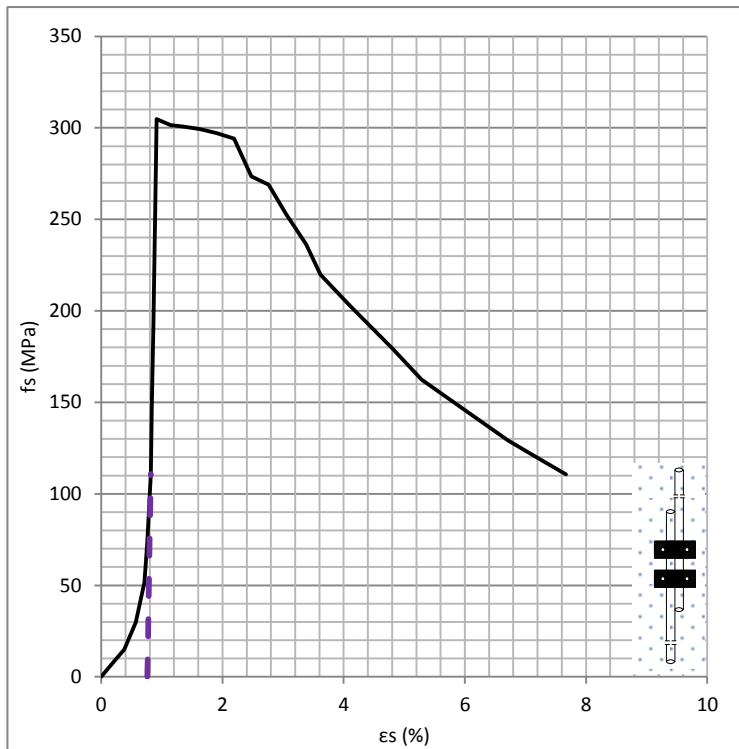
Gambar LII.3. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan.



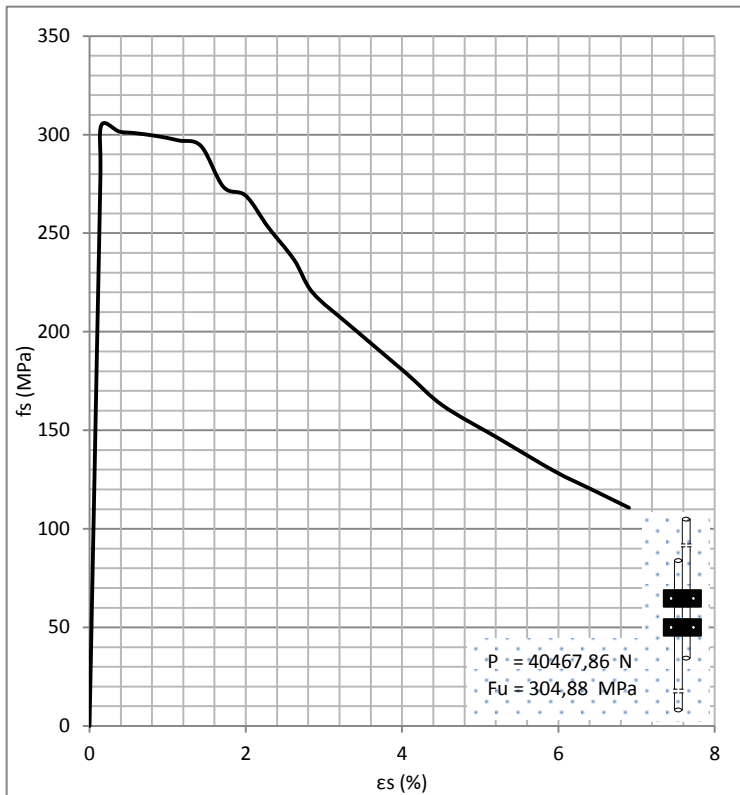
Gambar LII.4. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.3. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
450.00	4414.50	0.02	105	132.73	33.26	0.02	198360.34
700.00	6867.00	0.03	105	132.73	51.74	0.03	199839.45
1000.00	9810.00	0.04	105	132.73	73.91	0.04	198672.51
1500.00	14715.00	0.06	105	132.73	110.86	0.06	197972.51
2000.00	19620.00	0.08	105	132.73	147.82	0.07	198955.93
2600.00	25506.00	0.10	105	132.73	192.16	0.10	199949.2
3200.00	31392.00	0.12	105	132.73	236.51	0.12	198932.36
3800.00	37278.00	0.15	105	132.73	280.85	0.14	199929.29
4125.16	40467.86	0.16	105	132.73	304.88	0.15	199925.89
4080.00	40024.80	0.40	105	132.73	301.54	0.38	79155.46
4070.00	39926.70	0.60	105	132.73	300.81	0.57	52640.968
4049.67	39727.28	0.90	105	132.73	299.30	0.86	34918.698
4019.00	39426.39	1.20	105	132.73	297.04	1.14	25990.669
3980.00	39043.80	1.50	105	132.73	294.15	1.43	20590.767
3700.00	36297.00	1.80	105	132.73	273.46	1.71	15951.808
3640.00	35708.40	2.10	105	132.73	269.03	2.00	13451.255
3424.51	33594.42	2.40	105	132.73	253.10	2.29	11073.06
3199.34	31385.56	2.75	105	132.73	236.46	2.62	9028.3617
2974.18	29176.71	3.00	105	132.73	219.82	2.86	7693.5486
2749.02	26967.85	3.50	105	132.73	203.17	3.33	6095.2276
2423.85	23777.99	4.25	105	132.73	179.14	4.05	4425.862
2198.69	21569.13	4.75	105	132.73	162.50	4.52	3592.1189
1973.52	19360.27	5.50	105	132.73	145.86	5.24	2784.5847
1748.36	17151.41	6.25	105	132.73	129.22	5.95	2170.8587
1623.20	15923.55	6.75	105	132.73	119.97	6.43	1866.1558
1498.03	14695.69	7.25	105	132.73	110.72	6.90	1603.4809



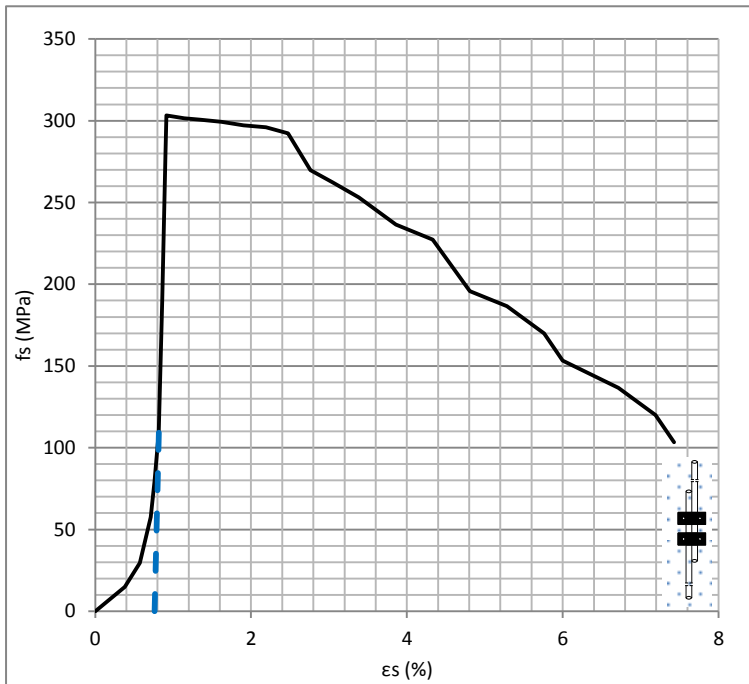
Gambar LII.5. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan.



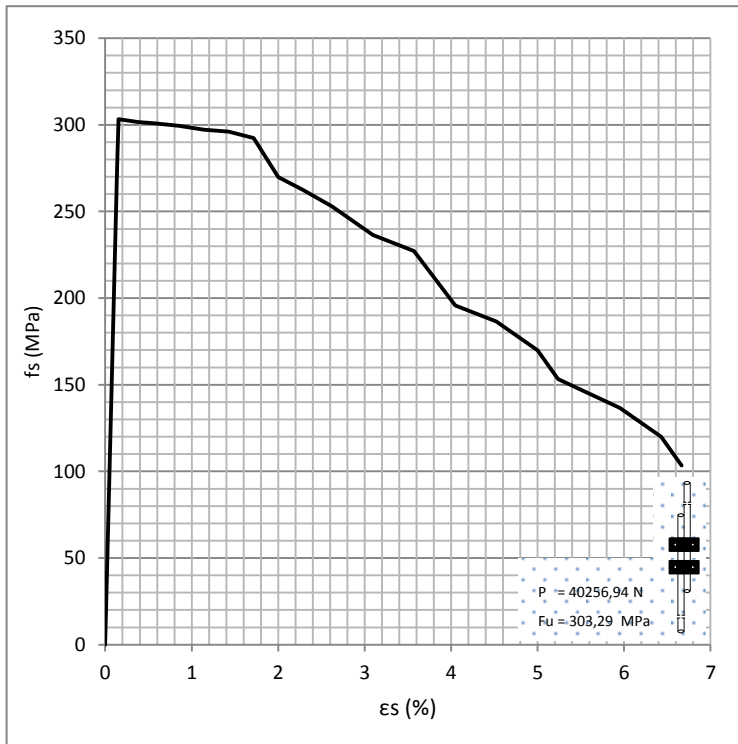
Gambar LII.6. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.4. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
474.50	4654.85	0.02	105	132.73	35.07	0.02	198098.15
778.50	7637.09	0.03	105	132.73	57.54	0.03	197925.11
1078.50	10580.09	0.04	105	132.73	79.71	0.04	197869.45
1478.50	14504.09	0.06	105	132.73	109.27	0.05	199965.28
1978.50	19409.09	0.08	105	132.73	146.23	0.07	197921.09
2578.50	25295.09	0.10	105	132.73	190.57	0.10	197893.71
3178.50	31181.09	0.12	105	132.73	234.92	0.12	198694.96
3778.50	37067.09	0.15	105	132.73	279.26	0.14	199482.96
4103.66	40256.94	0.16	105	132.73	303.29	0.15	198968.35
4080.00	40024.80	0.40	105	132.73	301.54	0.38	79155.46
4070.00	39926.70	0.60	105	132.73	300.81	0.57	52640.97
4050.67	39737.09	0.90	105	132.73	299.38	0.86	34927.32
4020.00	39436.20	1.20	105	132.73	297.11	1.14	25997.14
4005.00	39289.05	1.50	105	132.73	296.00	1.43	20720.11
3955.00	38798.55	1.80	105	132.73	292.31	1.71	17051.19
3650.00	35806.50	2.10	105	132.73	269.76	2.00	13488.21
3550.00	34825.50	2.40	105	132.73	262.37	2.29	11478.84
3424.51	33594.42	2.75	105	132.73	253.10	2.62	9663.76
3199.34	31385.56	3.25	105	132.73	236.46	3.10	7639.38
3074.18	30157.71	3.75	105	132.73	227.21	3.57	6361.78
2649.02	25986.85	4.25	105	132.73	195.78	4.05	4837.00
2523.85	24758.99	4.75	105	132.73	186.53	4.52	4123.36
2298.69	22550.13	5.25	105	132.73	169.89	5.00	3397.83
2073.52	20341.27	5.50	105	132.73	153.25	5.24	2925.68
1848.36	18132.41	6.25	105	132.73	136.61	5.95	2295.02
1623.20	15923.55	6.75	105	132.73	119.97	6.43	1866.16
1398.03	13714.69	7.00	105	132.73	103.33	6.67	1549.89



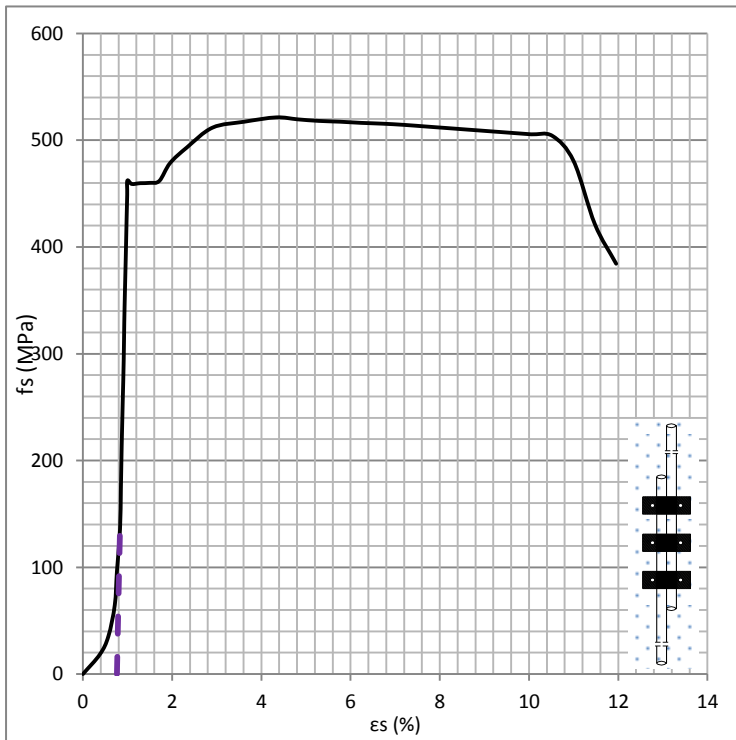
Gambar LII.7. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan.



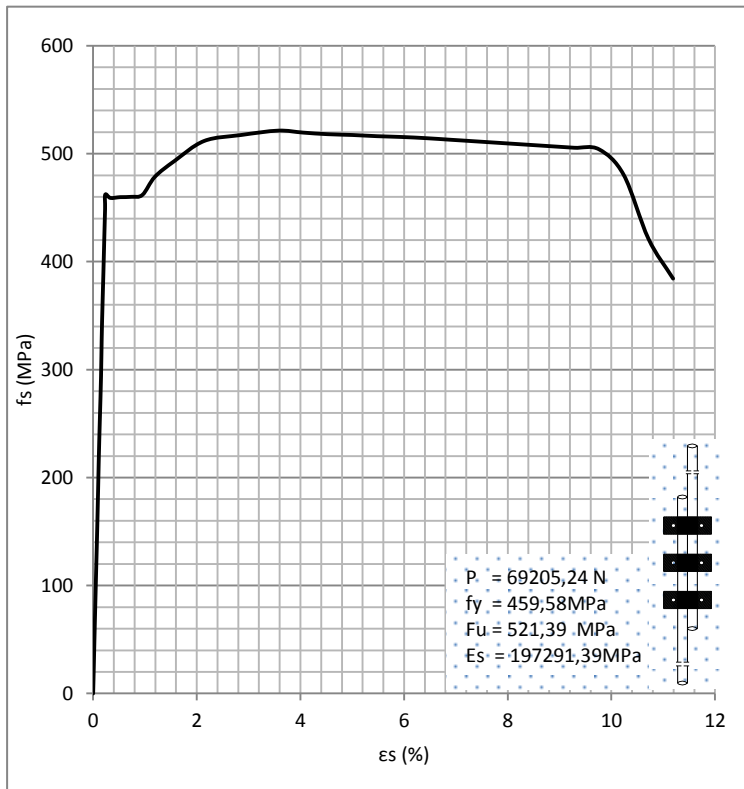
Gambar LII.8. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.5. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
250.00	2452.50	0.01	105	132.73	18.48	0.01	191673.09
480.00	4708.80	0.02	105	132.73	35.48	0.02	198409.40
875.00	8583.75	0.03	105	132.73	64.67	0.03	199600.99
1300.00	12753.00	0.05	105	132.73	96.08	0.05	197806.56
1835.00	18001.35	0.07	105	132.73	135.62	0.07	194829.73
2350.00	23053.50	0.09	105	132.73	173.68	0.09	194970.59
2900.00	28449.00	0.11	105	132.73	214.33	0.11	199506.64
3449.00	33834.69	0.14	105	132.73	254.91	0.13	196037.61
3974.52	38990.04	0.16	105	132.73	293.75	0.15	192849.29
4450.00	43654.50	0.17	105	132.73	328.89	0.16	199587.29
4875.00	47823.75	0.19	105	132.73	360.30	0.18	199301.59
5275.00	51747.75	0.21	105	132.73	389.86	0.20	196729.09
5755.00	56456.55	0.23	105	132.73	425.34	0.22	196086.98
6075.00	59595.75	0.24	105	132.73	448.99	0.23	194838.08
6253.00	61341.93	0.25	105	132.73	462.15	0.23	197291.39
6211.00	60929.91	0.35	105	132.73	459.04	0.33	137712.76
6221.00	61028.01	0.55	105	132.73	459.78	0.52	87776.49
6225.00	61067.25	0.78	105	132.73	460.08	0.74	61933.48
6250.00	61312.50	1.00	105	132.73	461.92	0.95	48502.12
6475.00	63519.75	1.25	105	132.73	478.55	1.19	40198.56
6675.00	65481.75	1.65	105	132.73	493.34	1.57	31394.10
6925.00	67934.25	2.25	105	132.73	511.81	2.14	23884.60
7000.00	68670.00	3.00	105	132.73	517.36	2.86	18107.46
7054.56	69205.24	3.75	105	132.73	521.39	3.57	14598.88
7030.00	68964.30	4.25	105	132.73	519.57	4.05	12836.51
7010.00	68768.10	4.75	105	132.73	518.10	4.52	11452.63
7000.00	68670.00	5.25	105	132.73	517.36	5.00	10347.12
6985.00	68522.85	5.75	105	132.73	516.25	5.48	9427.13
6975.00	68424.75	6.25	105	132.73	515.51	5.95	8660.54
6960.00	68277.60	6.75	105	132.73	514.40	6.43	8001.77
6940.00	68081.40	7.25	105	132.73	512.92	6.90	7428.52
6920.00	67885.20	7.75	105	132.73	511.44	7.38	6929.23
6900.00	67689.00	8.25	105	132.73	509.97	7.86	6490.47
6880.00	67492.80	8.75	105	132.73	508.49	8.33	6101.84
6860.00	67296.60	9.25	105	132.73	507.01	8.81	5755.24
6840.00	67100.40	9.75	105	132.73	505.53	9.29	5444.18
6820.00	66904.20	10.25	105	132.73	504.05	9.76	5163.46
6500.00	63765.00	10.75	105	132.73	480.40	10.24	4692.30
5700.00	55917.00	11.25	105	132.73	421.28	10.71	3931.91
5200.00	51012.00	11.75	105	132.73	384.32	11.19	3434.36



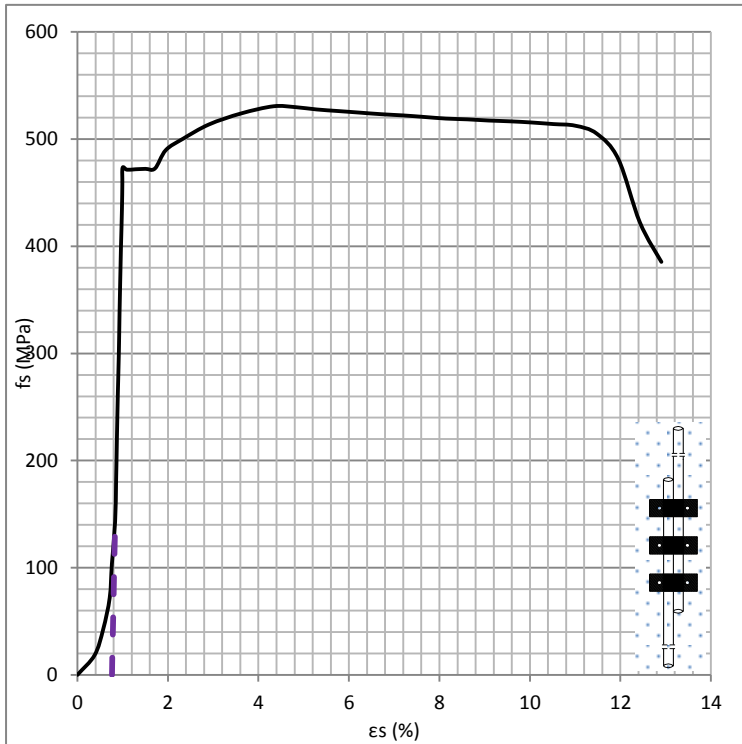
Gambar LII.9. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan.



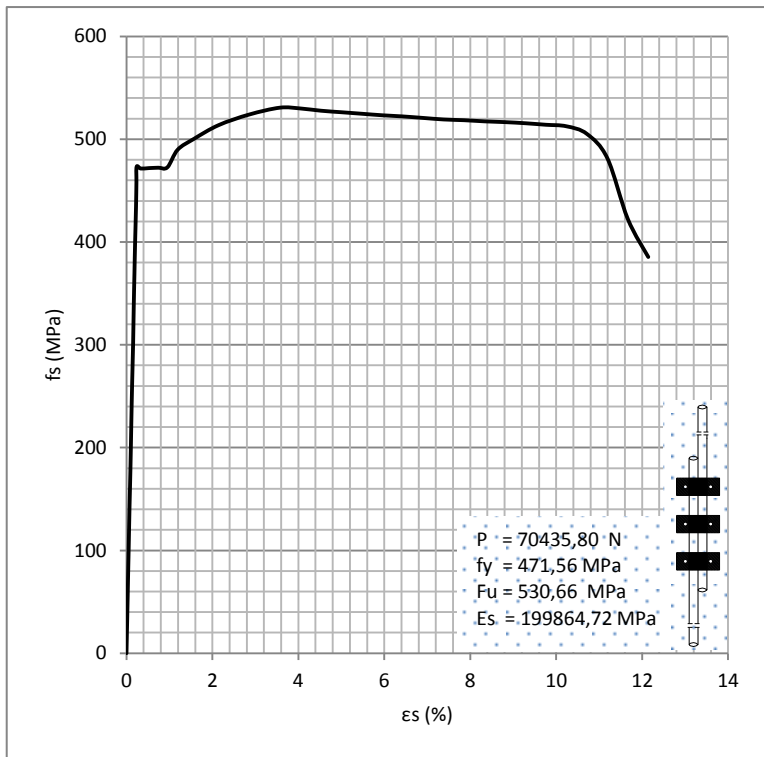
Gambar LII.10. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.6. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D13 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
250.00	2452.50	0.01	105	132.73	18.48	0.01	196390.32
580.00	5689.80	0.02	105	132.73	42.87	0.02	195949.36
975.00	9564.75	0.04	105	132.73	72.06	0.04	198947.39
1400.00	13734.00	0.05	105	132.73	103.47	0.05	199726.29
1935.00	18982.35	0.08	105	132.73	143.01	0.07	199967.32
2450.00	24034.50	0.10	105	132.73	181.07	0.09	193996.32
3000.00	29430.00	0.12	105	132.73	221.72	0.11	198696.66
3549.00	34815.69	0.14	105	132.73	262.30	0.13	199563.57
4074.52	39971.04	0.16	105	132.73	301.14	0.15	194998.32
4550.00	44635.50	0.18	105	132.73	336.28	0.17	199547.34
5000.00	49050.00	0.19	105	132.73	369.54	0.19	199435.21
5400.00	52974.00	0.21	105	132.73	399.10	0.20	198957.21
5880.00	57682.80	0.23	105	132.73	434.58	0.22	195503.45
6200.00	60822.00	0.24	105	132.73	458.23	0.23	198200.32
6403.56	62818.96	0.25	105	132.73	473.27	0.24	199864.72
6379.00	62577.99	0.35	105	132.73	471.46	0.33	141437.73
6385.00	62636.85	0.55	105	132.73	471.90	0.52	90090.483
6390.00	62685.90	0.78	105	132.73	472.27	0.74	63575.087
6395.00	62734.95	1.00	105	132.73	472.64	0.95	49627.369
6626.00	65001.06	1.25	105	132.73	489.71	1.19	41136.006
6770.00	66413.70	1.65	105	132.73	500.36	1.57	31840.907
6950.00	68179.50	2.25	105	132.73	513.66	2.14	23970.826
7090.00	69552.90	3.00	105	132.73	524.01	2.86	18340.268
7180.00	70435.80	3.75	105	132.73	530.66	3.57	14858.463
7169.56	70333.39	4.25	105	132.73	529.89	4.05	13091.347
7140.00	70043.40	4.75	105	132.73	527.70	4.52	11665.015
7120.00	69847.20	5.25	105	132.73	526.22	5.00	10524.498
7100.00	69651.00	5.75	105	132.73	524.75	5.48	9582.3319
7080.00	69454.80	6.25	105	132.73	523.27	5.95	8790.9123
7065.00	69307.65	6.75	105	132.73	522.16	6.43	8122.4884
7045.00	69111.45	7.25	105	132.73	520.68	6.90	7540.9089
7025.00	68915.25	7.75	105	132.73	519.20	7.38	7034.372
7015.00	68817.15	8.25	105	132.73	518.46	7.86	6598.6399
7000.00	68670.00	8.75	105	132.73	517.36	8.33	6208.2714
6990.00	68571.90	9.25	105	132.73	516.62	8.81	5864.2996
6975.00	68424.75	9.75	105	132.73	515.51	9.29	5551.6273
6955.00	68228.55	10.25	105	132.73	514.03	9.76	5265.6741
6935.00	68032.35	10.75	105	132.73	512.55	10.24	5006.3212
6835.00	67051.35	11.25	105	132.73	505.16	10.71	4714.8372
6515.00	63912.15	11.75	105	132.73	481.51	11.19	4302.8604
5715.00	56064.15	12.25	105	132.73	422.38	11.67	3620.4358
5215.00	51159.15	12.75	105	132.73	385.43	12.14	3174.1309



Gambar LII.11. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan.

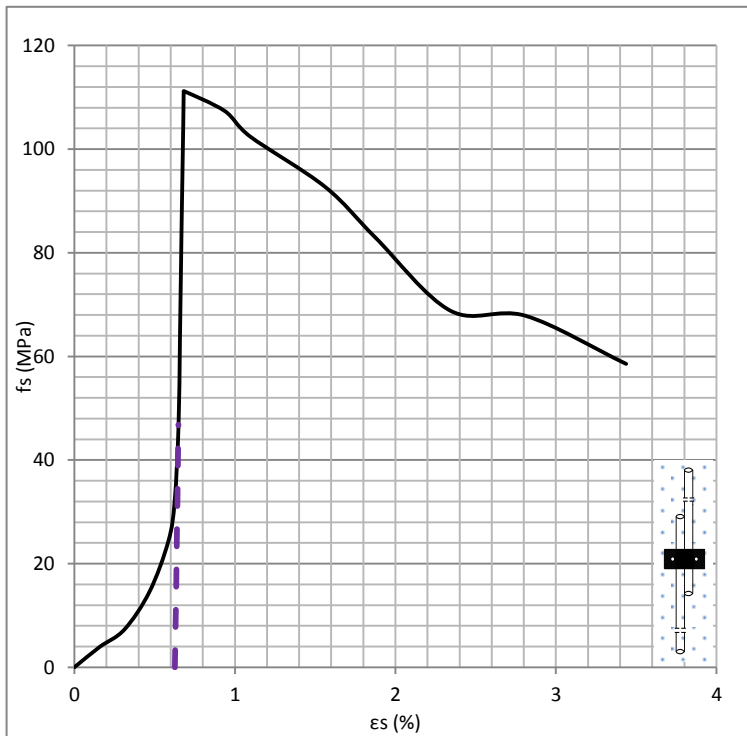


Gambar LII.12. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D13 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

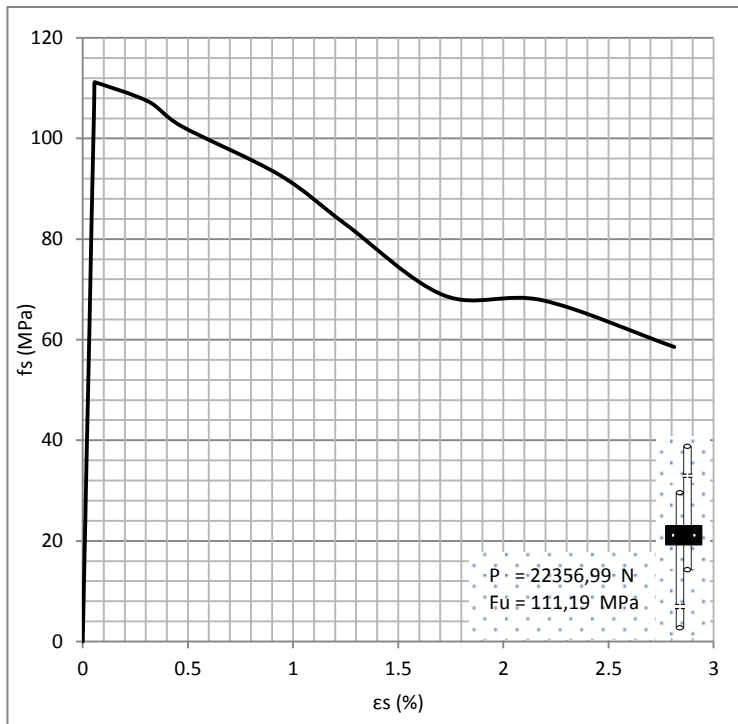
2. Diameter Tulangan Disambung D16 mm

Tabel LII.7. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A (mm ²)	$\bar{\sigma} = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L_0) \cdot 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
400.00	3924.00	0.013	128	201.06	19.52	0.01	199783.78
500.00	4905.00	0.016	128	201.06	24.40	0.01	197094.77
660.00	6474.60	0.021	128	201.06	32.20	0.02	199570.56
960.00	9417.60	0.031	128	201.06	46.84	0.02	196452.85
1300.00	12753.00	0.042	128	201.06	63.43	0.03	195028.44
1750.00	17167.50	0.055	128	201.06	85.38	0.04	198893.29
2150.00	21091.50	0.068	128	201.06	104.90	0.05	196990.48
2275.00	22317.75	0.071	128	201.06	111.00	0.06	199587.34
2279.00	22356.99	0.073	128	201.06	111.19	0.06	193952.74
2200.00	21582.00	0.400	128	201.06	107.34	0.31	34348.739
2100.00	20601.00	0.600	128	201.06	102.46	0.47	21858.289
1900.00	18639.00	1.200	128	201.06	92.70	0.94	9888.2735
1700.00	16677.00	1.600	128	201.06	82.94	1.25	6635.5519
1410.00	13832.10	2.200	128	201.06	68.80	1.72	4002.6217
1390.00	13635.90	2.800	128	201.06	67.82	2.19	3100.3083
1200.00	11772.00	3.600	128	201.06	58.55	2.81	2081.7418



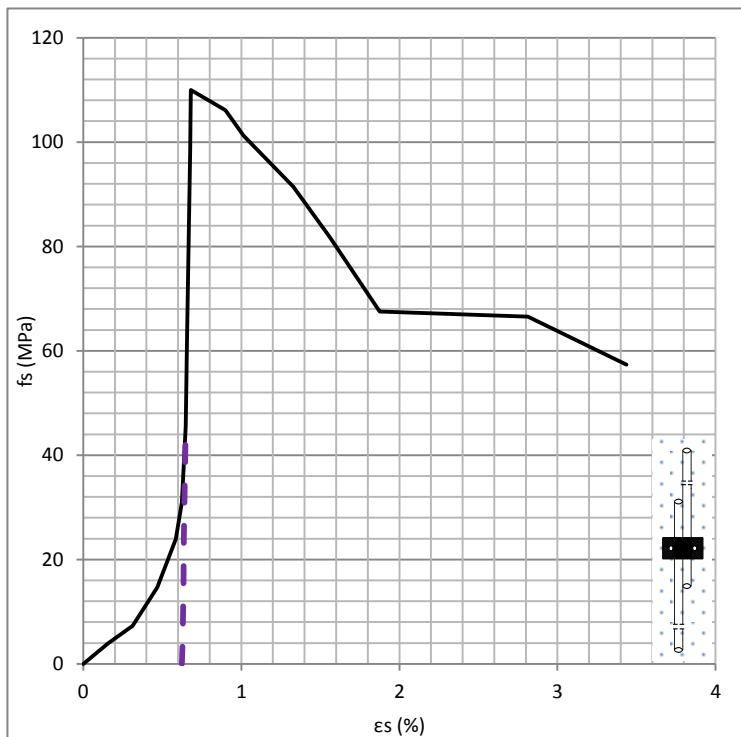
Gambar LII.13. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan



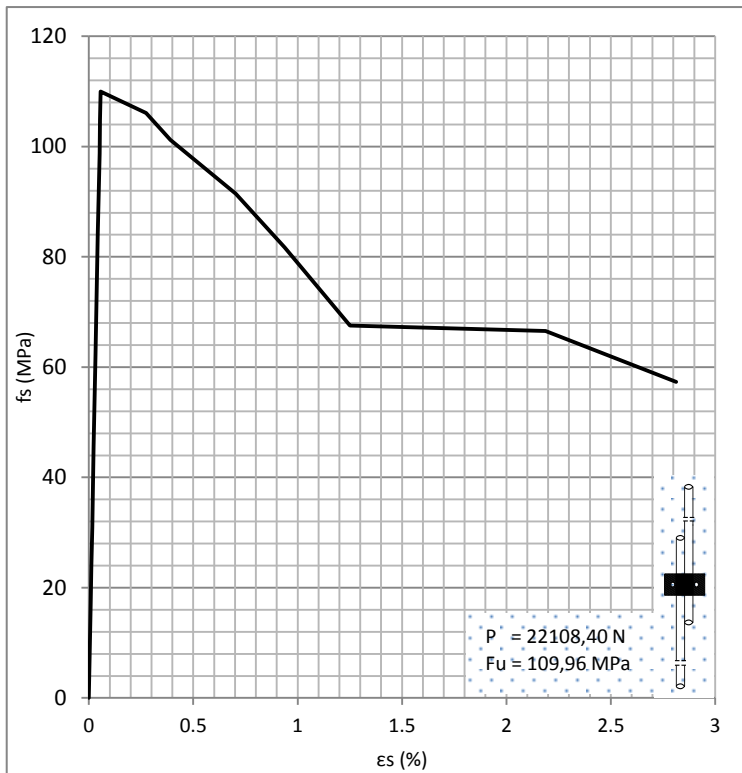
Gambar LII.14. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.8. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
350.00	3433.50	0.011	128	201.06	17.08	0.01	195899.09
490.00	4806.90	0.015	128	201.06	23.91	0.01	199975.34
634.65	6225.92	0.020	128	201.06	30.97	0.02	193599.97
934.45	9166.95	0.029	128	201.06	45.59	0.02	198759.37
1274.50	12502.85	0.041	128	201.06	62.18	0.03	193439.2998
1724.65	16918.82	0.055	128	201.06	84.15	0.04	196786.49
2024.50	19860.35	0.066	128	201.06	98.78	0.05	191156.9
2149.40	21085.61	0.069	128	201.06	104.87	0.05	195488.5001
2253.66	22108.40	0.072	128	201.06	109.96	0.06	194870.22
2174.75	21334.30	0.350	128	201.06	106.11	0.27	38805.15388
2074.35	20349.37	0.500	128	201.06	101.21	0.39	25909.56646
1874.60	18389.83	0.900	128	201.06	91.46	0.70	13008.11052
1674.40	16425.86	1.200	128	201.06	81.70	0.94	8714.171123
1384.20	13579.00	1.600	128	201.06	67.54	1.25	5402.900592
1364.45	13385.25	2.800	128	201.06	66.57	2.19	3043.320624
1174.90	11525.77	3.600	128	201.06	57.32	2.81	2038.198689



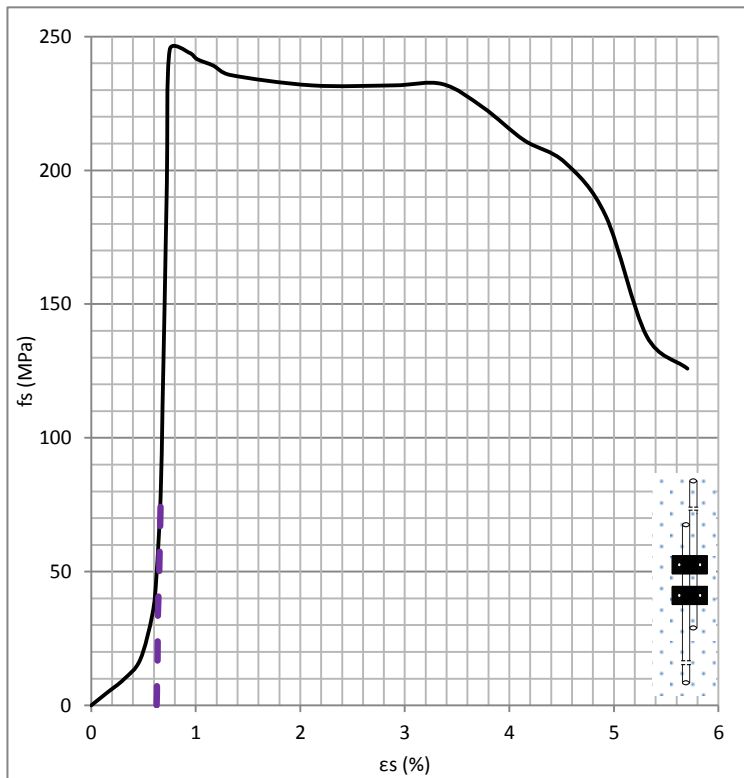
Gambar LII.15. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan



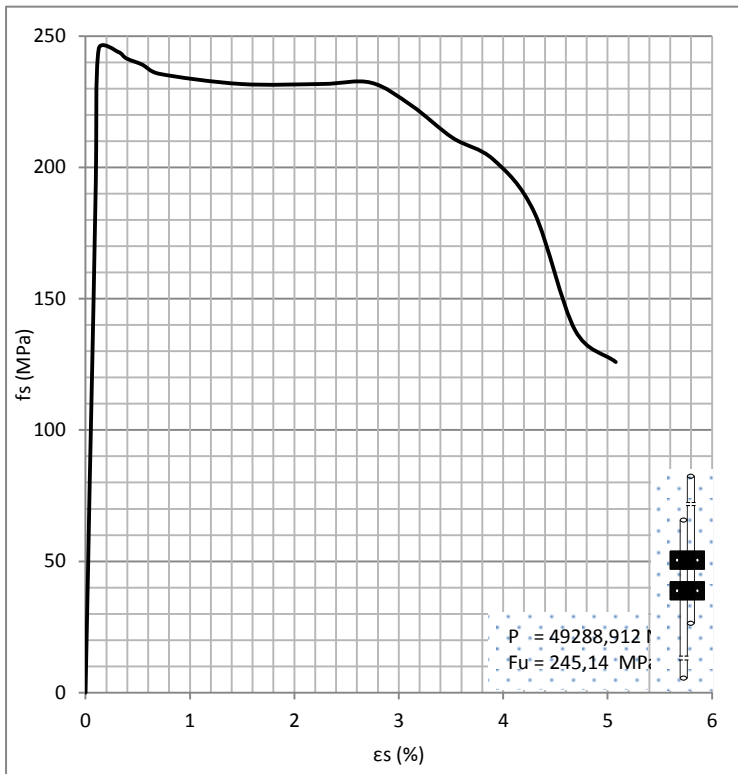
Gambar LII.16. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp*

Tabel LII.9. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
500	4905	0.02	128	201.06	24.40	0.01	198009.65
1000	9810	0.03	128	201.06	48.79	0.03	194881.47
1600	15696	0.05	128	201.06	78.07	0.04	198764.09
2300	22563	0.07	128	201.06	112.22	0.06	194821.34
3100	30411	0.10	128	201.06	151.25	0.08	193782.97
4000	39240	0.13	128	201.06	195.16	0.10	197231.32
5024.354	49288.91274	0.2	128	201.06	245.14	0.13	193299.61
5000	49050	0.4	128	201.06	243.95	0.31	78065.317
4950	48559.5	0.5	128	201.06	241.51	0.39	61827.731
4900	48069	0.7	128	201.06	239.08	0.55	43716.578
4830	47382.3	0.9	128	201.06	235.66	0.70	33516.043
4750	46597.5	1.9	128	201.06	231.76	1.48	15613.063
4750	46597.5	2.9	128	201.06	231.76	2.27	10229.248
4760	46695.6	3.5	128	201.06	232.24	2.73	8493.5065
4580	44929.8	4	128	201.06	223.46	3.13	7150.783
4330	42477.3	4.5	128	201.06	211.26	3.52	6009.2946
4160	40809.6	5	128	201.06	202.97	3.91	5196.0275
3750	36787.5	5.5	128	201.06	182.97	4.30	4258.1082
2830	27762.3	6	128	201.06	138.08	4.69	2945.6646
2580	25309.8	6.5	128	201.06	125.88	5.08	2478.8741



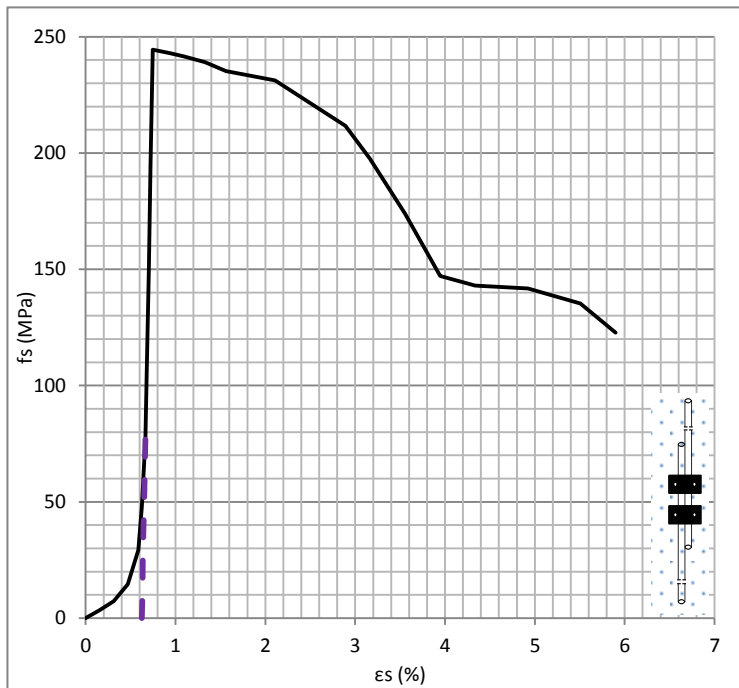
Gambar LII.17. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan



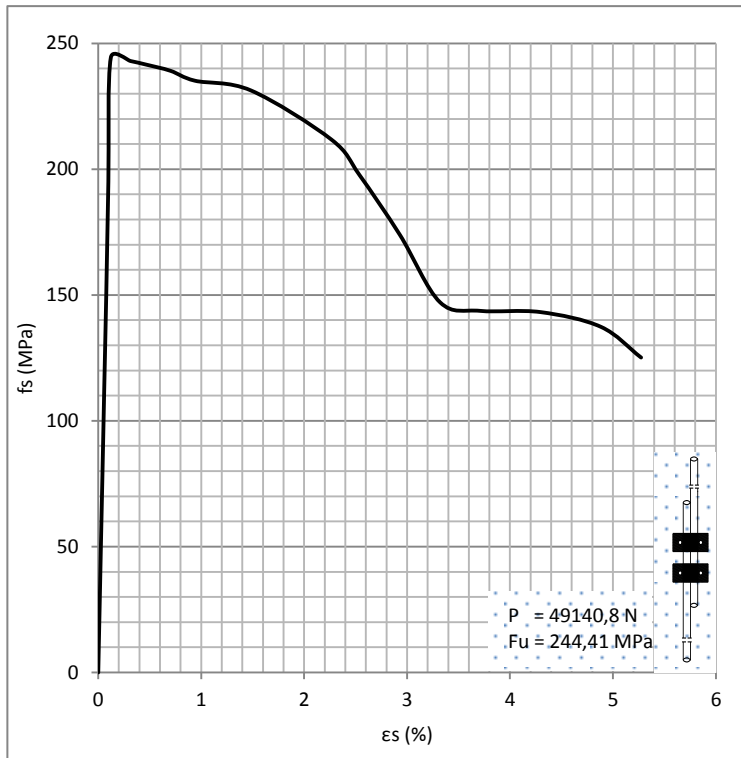
Gambar LII.9. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.10. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
485.5	4762.755	0.02	128	201.06	23.69	0.01	193526.12
987	9682.47	0.03	128	201.06	48.16	0.02	193671.21
1580	15499.8	0.05	128	201.06	77.09	0.04	193171.4299
2290	22464.9	0.07	128	201.06	111.73	0.06	193551.21
3100	30411	0.10	128	201.06	151.25	0.08	193266.7099
3995	39190.95	0.13	128	201.06	194.92	0.10	198299.4799
5009.21	49140.35	0.2	128	201.06	244.40	0.12	199378.02
4980	48853.8	0.4	128	201.06	242.98	0.31	77753.05577
4950	48559.5	0.6	128	201.06	241.51	0.47	51523.10924
4900	48069	0.9	128	201.06	239.08	0.70	34001.78253
4820	47284.2	1.2	128	201.06	235.17	0.94	25084.98854
4740	46499.4	1.9	128	201.06	231.27	1.48	15580.1938
4340	42575.4	2.9	128	201.06	211.75	2.27	9346.302784
4050	39730.5	3.25	128	201.06	197.60	2.54	7782.511606
3565	34972.65	3.75	128	201.06	173.94	2.93	5937.127578
3015	29577.15	4.25	128	201.06	147.10	3.32	4430.436346
2945	28890.45	4.75	128	201.06	143.69	3.71	3872.039725
2935	28792.35	5.5	128	201.06	143.20	4.30	3332.679353
2815	27615.15	6.25	128	201.06	137.35	4.88	2812.849503
2565	25162.65	6.75	128	201.06	125.15	5.27	2373.185638



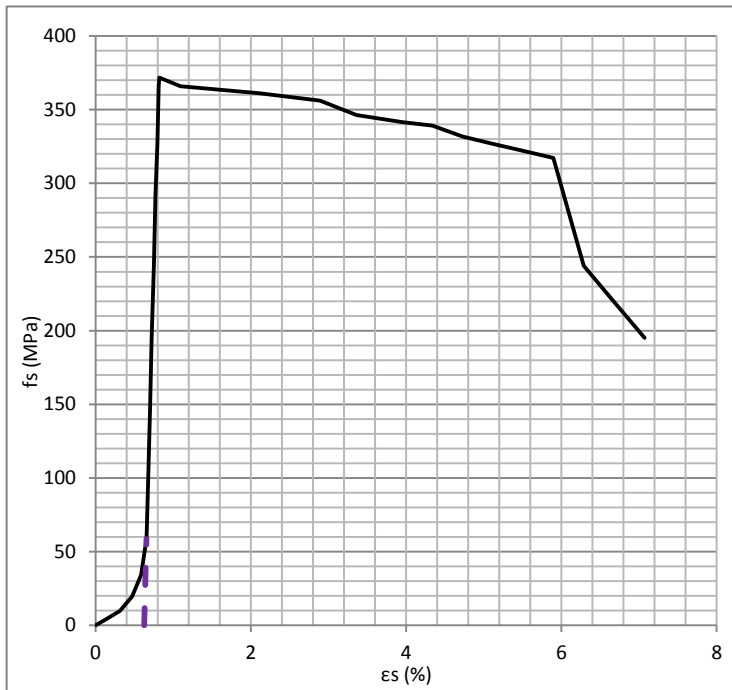
Gambar LII.19. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan



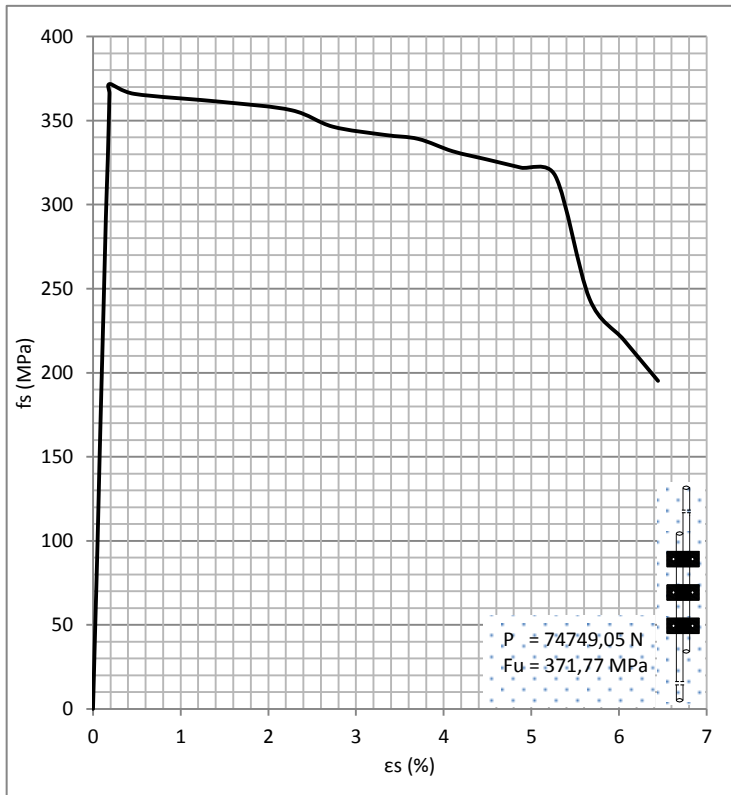
Gambar LII.20. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.11. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	9810	0.032	128	201.06	48.79082	0.03	193877.4
2000	19620	0.066	128	201.06	97.58165	0.05	190037.61
3000	29430	0.094	128	201.06	146.3725	0.07	198307.37
4000	39240	0.126	128	201.06	195.1633	0.10	198586.09
5000	49050	0.158	128	201.06	243.9541	0.12	197998.09
6000	58860	0.188	128	201.06	292.7449	0.15	198790.36
6700	65727	0.216	128	201.06	326.8985	0.17	193887.3
7300	71613	0.235	128	201.06	356.173	0.18	194089.32
7500	73575	0.241	128	201.06	365.9312	0.19	194680.49
7619.679	74749.05099	0.25	128	201.06	371.7704	0.20	190346.45
7500	73575	0.6	128	201.06	365.9312	0.47	78065.317
7400	72594	1.9	128	201.06	361.0521	1.48	24323.509
7300	71613	2.9	128	201.06	356.173	2.27	15720.74
7100	69651	3.5	128	201.06	346.4148	2.73	12668.886
7000	68670	4.25	128	201.06	341.5358	3.32	10286.254
6950	68179.5	4.75	128	201.06	339.0962	3.71	9137.7508
6800	66708	5.25	128	201.06	331.7776	4.10	8089.0538
6700	65727	5.75	128	201.06	326.8985	4.49	7277.0452
6600	64746	6.25	128	201.06	322.0194	4.88	6594.958
6500	63765	6.75	128	201.06	317.1404	5.27	6013.9207
5000	49050	7.25	128	201.06	243.9541	5.66	4307.052
4500	44145	7.75	128	201.06	219.5587	6.05	3626.2599
4000	39240	8.25	128	201.06	195.1633	6.45	3027.9881



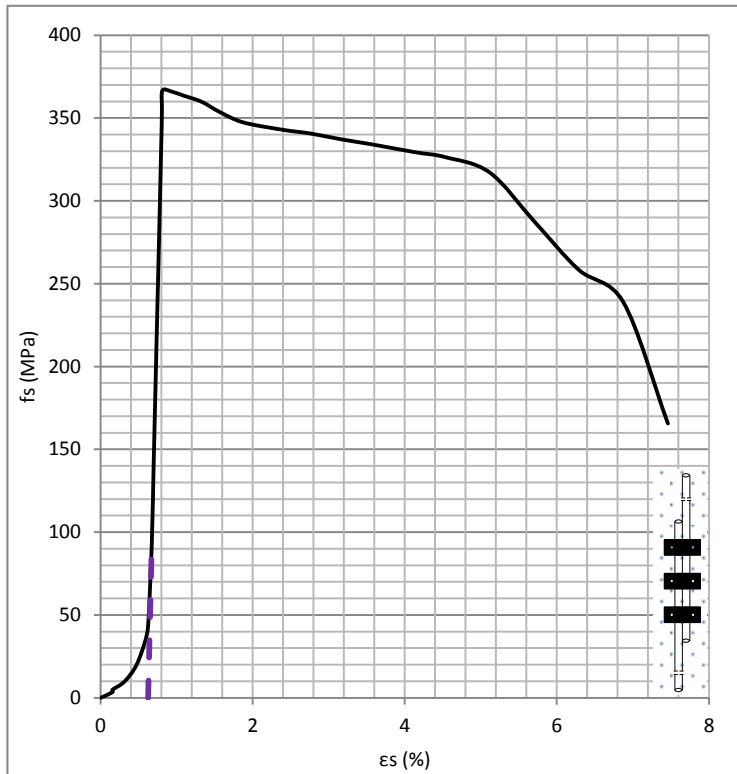
Gambar LII.21. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan



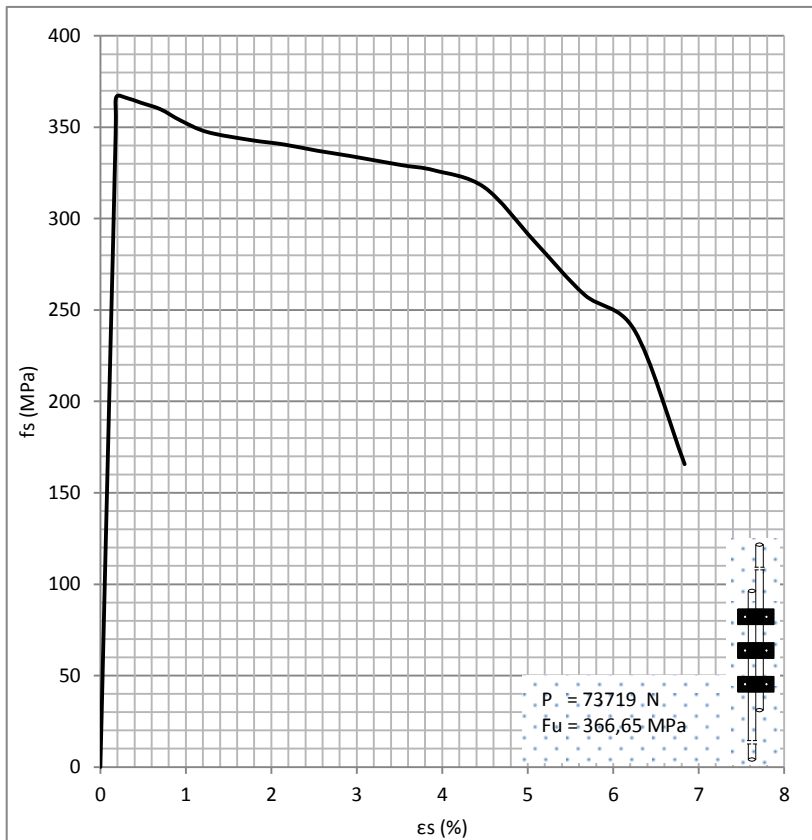
Gambar LII.22. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.12. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
895	8780.0	0.029	128	201.06	43.67	0.02	193005.06
1895	18590.0	0.061	128	201.06	92.46	0.05	194925.09
2895	28400.0	0.093	128	201.06	141.25	0.07	194083.81
3895	38210.0	0.125	128	201.06	190.04	0.10	194065.07
4895	48020.0	0.158	128	201.06	238.83	0.12	193859.06
5895	57830.0	0.191	128	201.06	287.62	0.15	192672.84
6595	64697.0	0.212	128	201.06	321.78	0.17	193894.05
7095	69602.0	0.229	128	201.06	346.17	0.18	193860.49
7295	71564.0	0.232	128	201.06	355.93	0.18	196266.91
7514.679	73719.0	0.241167	128	201.06	366.65	0.19	194599.34
7500	73575.0	0.4	128	201.06	365.93	0.31	117097.98
7450	73084.5	0.6	128	201.06	363.49	0.47	77544.88
7375	72348.8	0.9	128	201.06	359.83	0.70	51176.15
7250	71122.5	1.2	128	201.06	353.73	0.94	37731.57
7120	69847.2	1.6	128	201.06	347.39	1.25	27791.25
7030	68964.3	2.25	128	201.06	343.00	1.76	19512.86
6980	68473.8	2.75	128	201.06	340.56	2.15	15851.52
6910	67787.1	3.25	128	201.06	337.14	2.54	13278.31
6850	67198.5	3.75	128	201.06	334.22	2.93	11407.94
6750	66217.5	4.5	128	201.06	329.34	3.52	9367.84
6690	65628.9	5	128	201.06	326.41	3.91	8356.11
6500	63765.0	5.75	128	201.06	317.14	4.49	7059.82
5895	57830.0	6.5	128	201.06	287.62	5.08	5663.94
5295	51944.0	7.25	128	201.06	258.35	5.66	4561.17
4895	48020.0	8	128	201.06	238.83	6.25	3821.30
3395	33305.0	8.75	128	201.06	165.64	6.84	2423.15



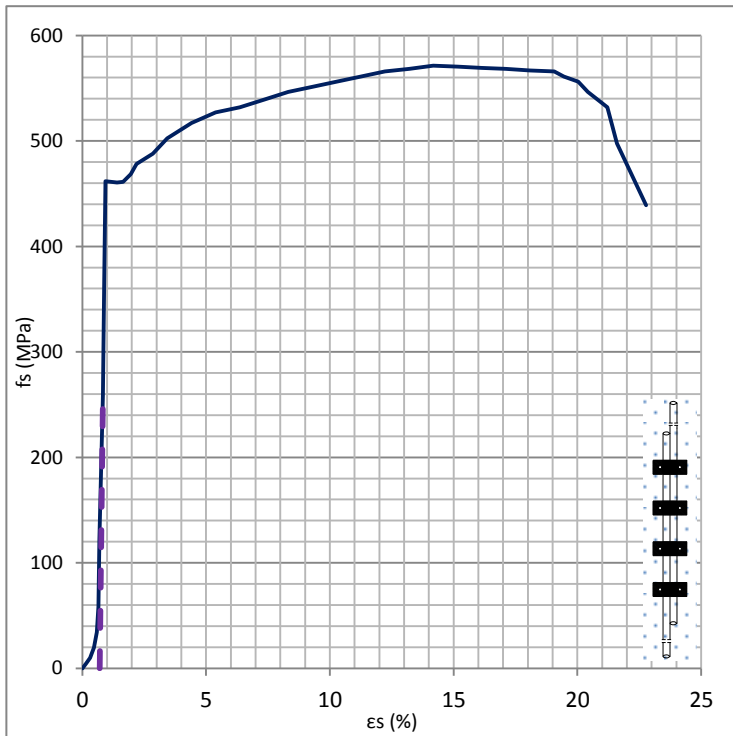
Gambar LII.23. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan



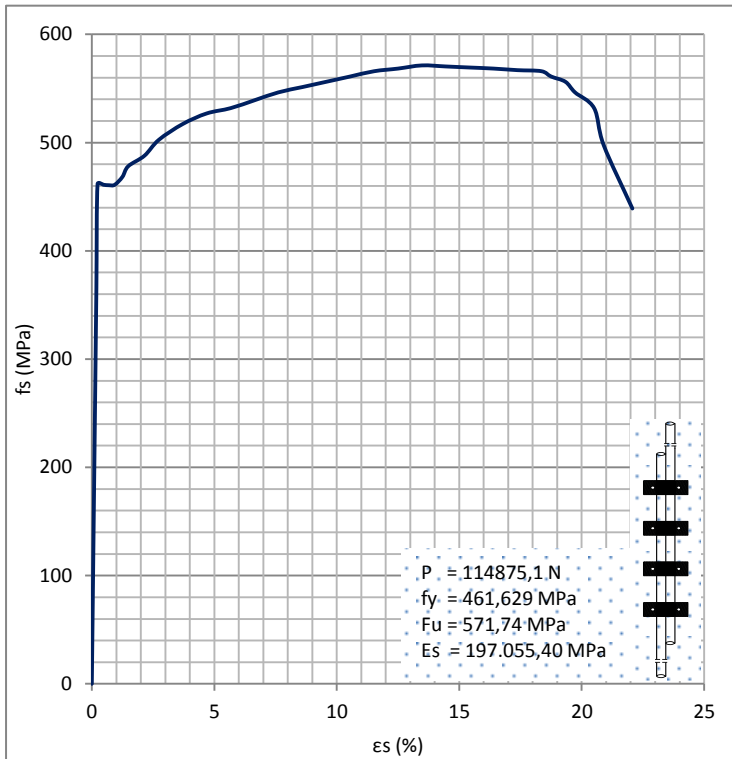
Gambar LII.24. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.13. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan empat pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
2500	24525	0.08	128	201.06	121.9771	0.06	197440.47
5300	51993	0.17	128	201.06	258.5914	0.13	197499.47
7500	73575	0.24	128	201.06	365.9312	0.19	197356.76
9465.89	92860.3809	0.3	128	201.06	461.8486	0.23	197055.39
9450	92704.5	0.6	128	201.06	461.0733	0.47	98362.299
9440.89	92615.1309	0.9	128	201.06	460.6288	0.70	65511.651
9450.56	92709.9936	1.2	128	201.06	461.1006	0.94	49184.064
9600	94176	1.6	128	201.06	468.3919	1.25	37471.352
9800	96138	1.9	128	201.06	478.1501	1.48	32212.215
10000	98100	2.75	128	201.06	487.9082	2.15	22709.91
10300	101043	3.5	128	201.06	502.5455	2.73	18378.806
10600	103986	4.75	128	201.06	517.1827	3.71	13936.713
10800	105948	6	128	201.06	526.9409	4.69	11241.406
10900	106929	7.25	128	201.06	531.82	5.66	9389.3733
11050	108400.5	8.5	128	201.06	539.1386	6.64	8118.793
11200	109872	9.75	128	201.06	546.4572	7.62	7174.0025
11300	110853	11	128	201.06	551.3363	8.59	6415.5497
11400	111834	12.25	128	201.06	556.2154	9.57	5811.8832
11500	112815	13.5	128	201.06	561.0945	10.55	5320.0068
11600	113796	14.75	128	201.06	565.9735	11.52	4911.4993
11650	114286.5	16	128	201.06	568.4131	12.50	4547.3047
11710	114875.1	17.25	128	201.06	571.3405	13.48	4239.5124
11690	114678.9	18.5	128	201.06	570.3647	14.45	3946.3073
11670	114482.7	19.75	128	201.06	569.3889	15.43	3690.2167
11650	114286.5	21	128	201.06	568.4131	16.41	3464.6131
11620	113992.2	22.25	128	201.06	566.9494	17.38	3261.5514
11600	113796	23.5	128	201.06	565.9735	18.36	3082.7495
11500	112815	24	128	201.06	561.0945	18.75	2992.5038
11400	111834	24.75	128	201.06	556.2154	19.34	2876.5887
11200	109872	25.25	128	201.06	546.4572	19.73	2770.1594
10900	106929	26.25	128	201.06	531.82	20.51	2593.2555
10200	100062	26.75	128	201.06	497.6664	20.90	2381.357
9000	88290	28.25	128	201.06	439.1174	22.07	1989.6293



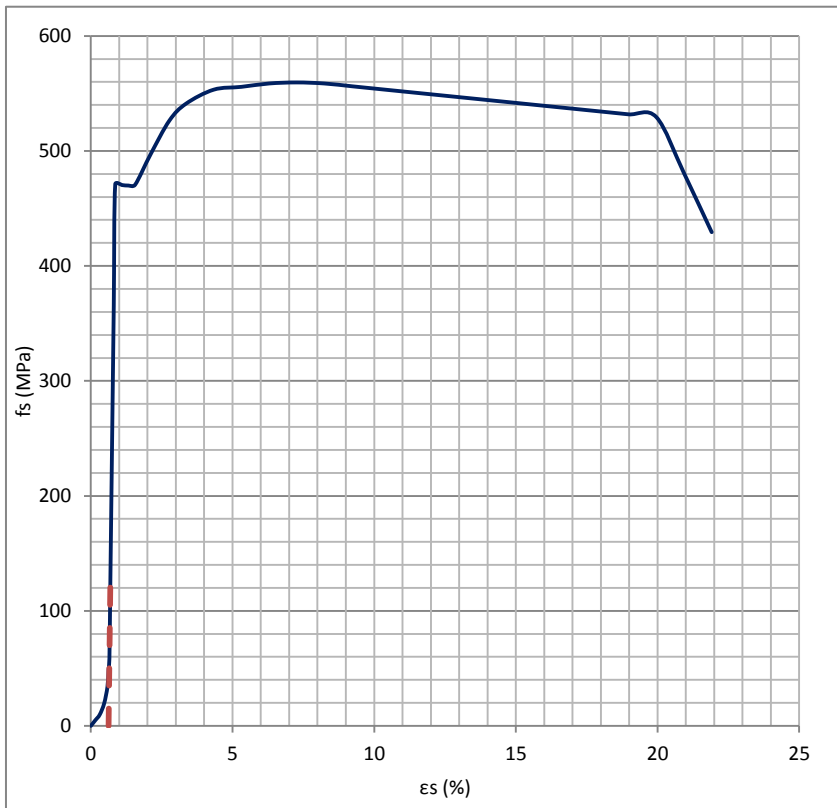
Gambar LII.25. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* sebelum disesuaikan



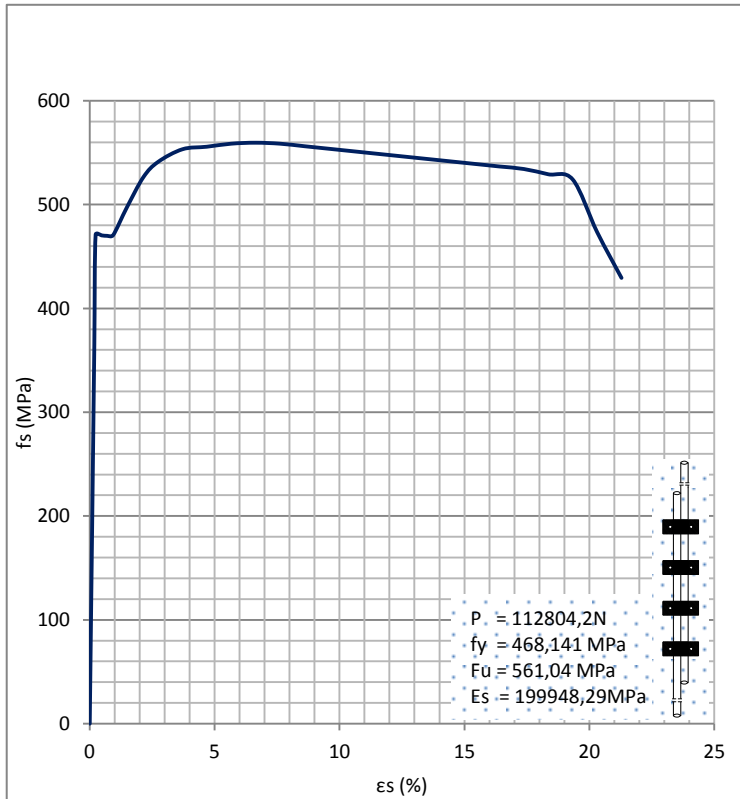
Gambar LII.26. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.14. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung menggunakan empat pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0	0	0	0	0	0	0	0
2490	24426.9	0.08	128	201.06	121.4891496	0.06	199390.61
5290	51894.9	0.17	128	201.06	258.1034544	0.13	199252.69
7490	73476.9	0.23	128	201.06	365.4432654	0.18	199378.33
9655.89	94724.28	0.30	128	201.06	471.1188213	0.24	199948.29
9640	94568.4	0.6	128	201.06	470.3435351	0.47	100339.9542
9630.89	94479.03	0.9	128	201.06	469.8990507	0.70	66830.08722
9645.56	94622.94	1.2	128	201.06	470.6148121	0.94	50198.91329
10190	99963.9	1.9	128	201.06	497.1784879	1.48	33494.12971
10790	105849.9	2.75	128	201.06	526.4529818	2.15	24503.99333
11090	108792.9	3.5	128	201.06	541.0902287	2.73	19788.44265
11340	111245.4	4.75	128	201.06	553.2879345	3.71	14909.65381
11390	111735.9	6	128	201.06	555.7274756	4.69	11855.51948
11450	112324.5	7.25	128	201.06	558.654925	5.66	9863.149021
11468.9	112509.9	8.5	128	201.06	559.5770716	6.64	8426.572372
11450	112324.5	9.75	128	201.06	558.654925	7.62	7334.136452
11400	111834	11	128	201.06	556.2153839	8.59	6472.324467
11350	111343.5	12.25	128	201.06	553.7758427	9.57	5786.392479
11300	110853	13.5	128	201.06	551.3363016	10.55	5227.484933
11250	110362.5	14.75	128	201.06	548.8967604	11.52	4763.30748
11200	109872	16	128	201.06	546.4572193	12.50	4371.657754
11150	109381.5	17.25	128	201.06	544.0176781	13.48	4036.768858
11100	108891	18.5	128	201.06	541.5781369	14.45	3747.135218
11050	108400.5	19.75	128	201.06	539.1385958	15.43	3494.164064
11000	107910	21	128	201.06	536.6990546	16.41	3271.308523
10950	107419.5	22.25	128	201.06	534.2595135	17.38	3073.492931
10900	106929	23.5	128	202.06	529.1880132	18.36	2882.385774
10850	106438.5	24.75	128	203.06	524.1664631	19.34	2710.840698
9850	96628.5	26	128	204.06	473.5242749	20.31	2331.19643
8800	86328	27.25	128	201.06	429.3592437	21.29	2016.806723



Gambar LII.27. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* sebelum disesuaikan

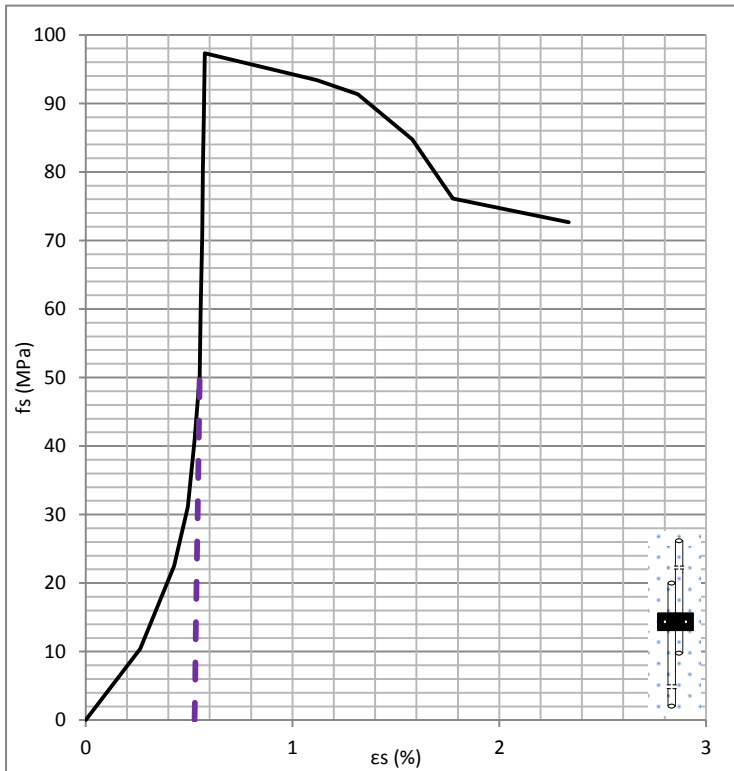


Gambar LII.28. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D16 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* setelah disesuaikan

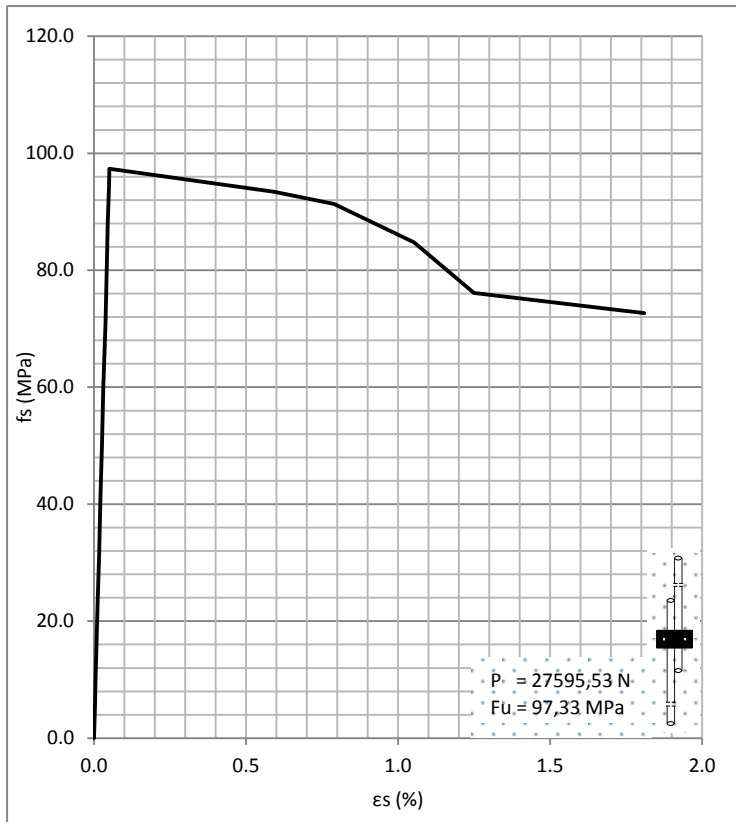
3. Diameter Tulangan Disambung D19 mm

Tabel LII.15. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) 100$ (%)	E (Mpa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	1471.5	0.004	152	283.53	5.19	0.00	194274.91
300	2943	0.008	152	283.53	10.38	0.01	193274.95
650	6376.5	0.018	152	283.53	22.49	0.01	193720.48
900	8829	0.024	152	283.53	31.14	0.02	193703.37
1180	11575.8	0.032	152	283.53	40.83	0.02	196709.85
1450	14224.5	0.039	152	283.53	50.17	0.03	194809.42
1730	16971.3	0.046	152	283.53	59.86	0.03	196200.83
2050	20110.5	0.057	152	283.53	70.93	0.04	190496.02
2330	22857.3	0.063	152	283.53	80.62	0.04	195028.07
2550	25015.5	0.068	152	283.53	88.23	0.04	197590.51
2730	26781.3	0.074	152	283.53	94.46	0.05	193008.47
2813	27595.53	0.076	152	283.53	97.33	0.05	193412.54
2700	26487	0.9	152	283.53	93.42	0.59	15777.41
2640	25898.4	1.2	152	283.53	91.34	0.79	11570.10
2450	24034.5	1.6	152	283.53	84.77	1.05	8053.05
2200	21582	1.9	152	283.53	76.12	1.25	6089.53
2100	20601	2.75	152	283.53	72.66	1.81	4016.07



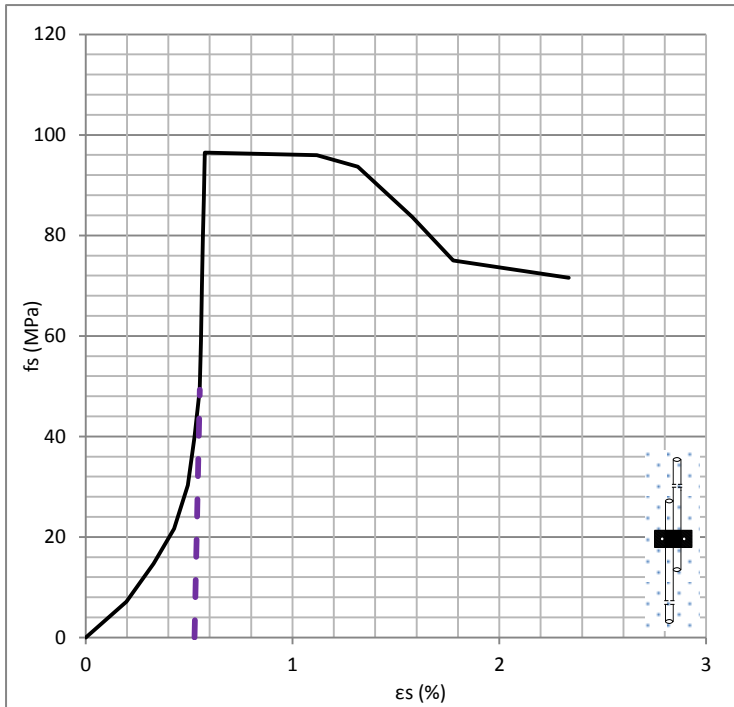
Gambar LII.29. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan



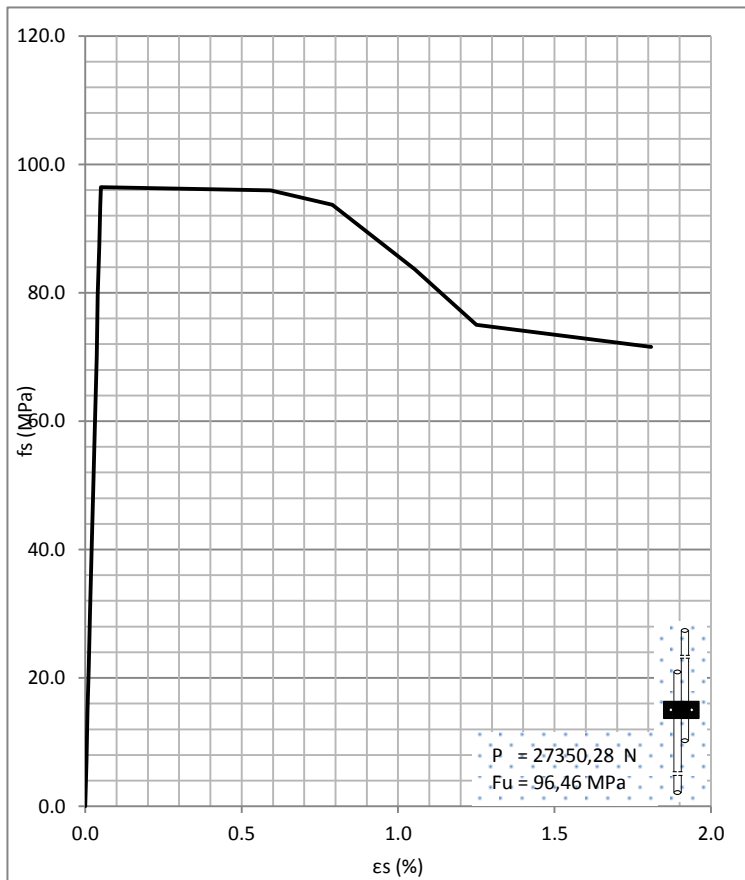
Gambar LII.30. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.16. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan satu pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
205	2011.05	0.005	152	283.53	7.09	0.00	196341.90
425	4169.25	0.011	152	283.53	14.70	0.01	196896.09
625	6131.25	0.017	152	283.53	21.62	0.01	192075.06
875	8583.75	0.024	152	283.53	30.27	0.02	194585.08
1155	11330.55	0.031	152	283.53	39.96	0.02	193879.45
1425	13979.25	0.039	152	283.53	49.30	0.03	193421.04
1705	16726.05	0.046	152	283.53	58.99	0.03	193875.02
2025	19865.25	0.055	152	283.53	70.06	0.04	192804.58
2305	22612.05	0.061	152	283.53	79.75	0.04	198201.38
2525	24770.25	0.069	152	283.53	87.36	0.05	193210.31
2705	26536.05	0.074	152	283.53	93.59	0.05	193201.28
2788	27350.28	0.076	152	283.53	96.46	0.05	193621.72
2773	27203.13	0.9	152	283.53	95.94	0.59	16203.99
2708	26565.48	1.2	152	283.53	93.70	0.79	11868.12
2418	23720.58	1.6	152	283.53	83.66	1.05	7947.87
2168	21268.08	1.9	152	283.53	75.01	1.25	6000.95
2068	20287.08	2.75	152	283.53	71.55	1.81	3954.87



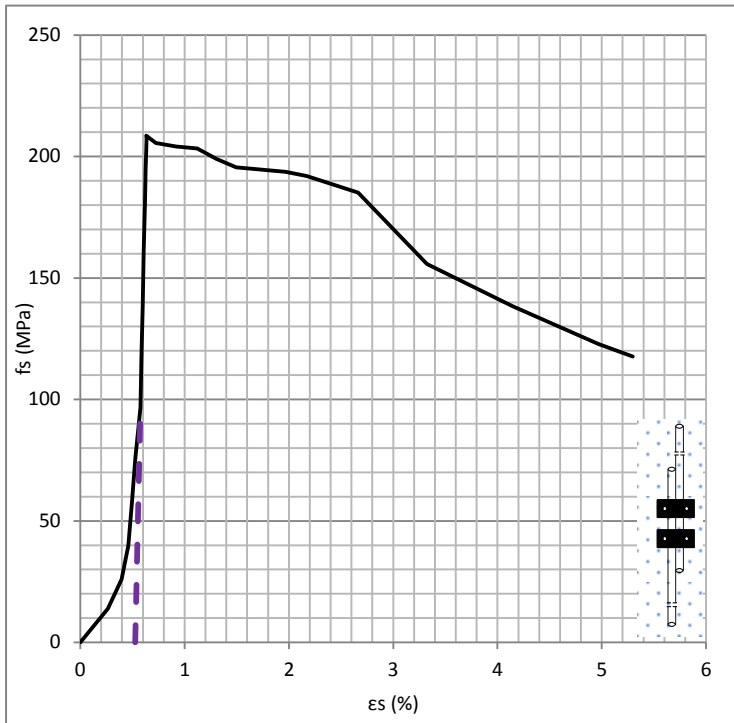
Gambar LII.31. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* sebelum disesuaikan



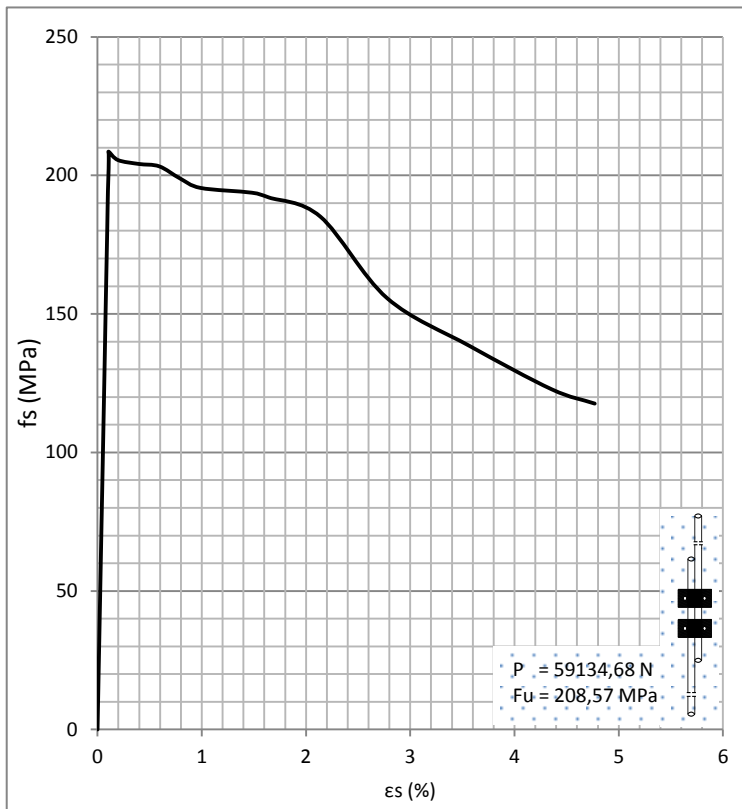
Gambar LII.16. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan satu pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.17. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
400	3924	0.011	152	283.53	13.84	0.01	194903.31
750	7357.5	0.020	152	283.53	25.95	0.01	193860.40
1150	11281.5	0.031	152	283.53	39.79	0.02	193661.42
1650	16186.5	0.045	152	283.53	57.09	0.03	193758.31
2195	21532.95	0.060	152	283.53	75.95	0.04	193407.83
2795	27418.95	0.076	152	283.53	96.71	0.05	192620.31
3400	33354	0.093	152	283.53	117.64	0.06	193262.54
4000	39240	0.109	152	283.53	138.40	0.07	193670.31
4650	45616.5	0.125	152	283.53	160.89	0.08	194880.93
5220	51208.2	0.142	152	283.53	180.61	0.09	193780.36
5620	55132.2	0.152	152	283.53	194.45	0.10	194802.49
5850	57388.5	0.162	152	283.53	202.41	0.11	190218.49
6000	58860	0.163	152	283.53	207.60	0.11	193021.59
6028	59134.68	0.163	152	283.53	208.57	0.11	194801.82
5940	58271.4	0.300	152	283.53	205.52	0.20	104130.92
5900	57879	0.600	152	283.53	204.14	0.39	51714.85
5875	57633.75	0.900	152	283.53	203.27	0.59	34330.48
5750	56407.5	1.200	152	283.53	198.95	0.79	25200.03
5650	55426.5	1.500	152	283.53	195.49	0.99	19809.42
5600	54936	2.250	152	283.53	193.76	1.48	13089.41
5550	54445.5	2.500	152	283.53	192.03	1.64	11675.28
5350	52483.5	3.250	152	283.53	185.11	2.14	8657.35
4500	44145	4.250	153	283.53	155.70	2.78	5605.13
4000	39240	5.500	154	283.53	138.40	3.57	3875.15
3550	34825.5	6.750	155	283.53	122.83	4.35	2820.51
3400	33354	7.250	152	283.53	117.64	4.77	2466.35



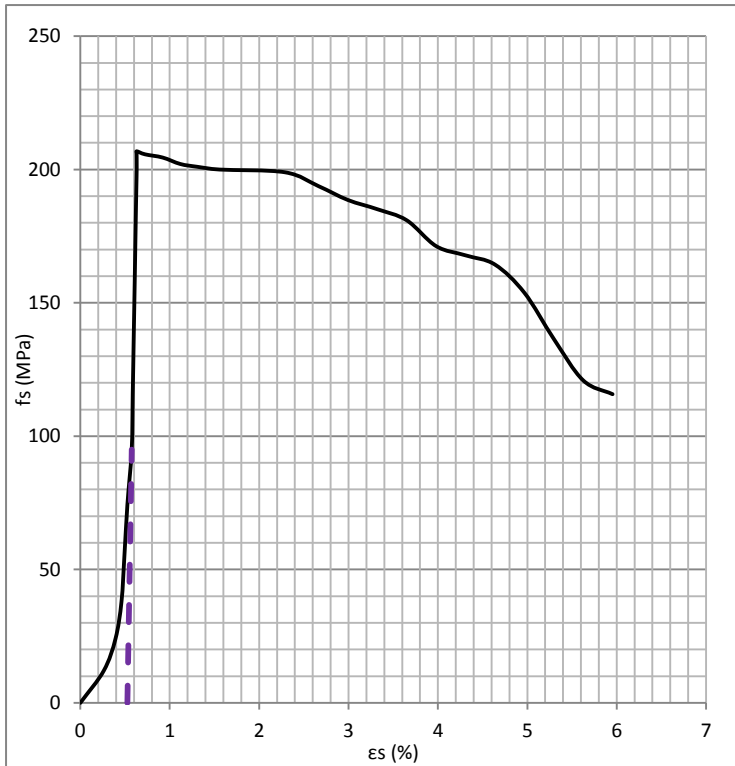
Gambar LII.33. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan



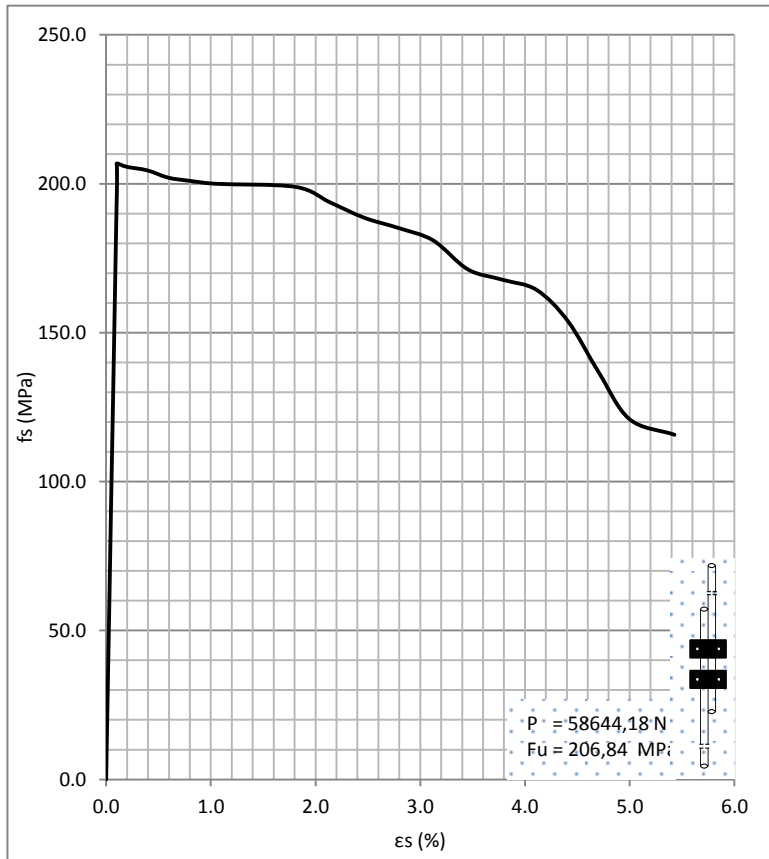
Gambar LII.34. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.18. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan dua pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
350	3433.5	0.009	152	283.53	12.11	0.01	193860.58
700	6867	0.019	152	283.53	24.22	0.01	194730.58
1100	10791	0.030	152	283.53	38.06	0.02	194832.08
1600	15696	0.044	152	283.53	55.36	0.03	193058.08
2145	21042.45	0.058	152	283.53	74.22	0.04	193880.54
2745	26928.45	0.074	152	283.53	94.98	0.05	195570.48
3350	32863.5	0.091	152	283.53	115.91	0.06	193021.54
3950	38749.5	0.108	152	283.53	136.67	0.07	193033.49
4600	45126	0.125	152	283.53	159.16	0.08	192988.09
5170	50717.7	0.140	152	283.53	178.88	0.09	193782.04
5570	54641.7	0.152	152	283.53	192.72	0.10	193004.82
5800	56898	0.158	152	283.53	200.68	0.10	193026.93
5950	58369.5	0.157	152	283.53	205.87	0.10	199650.38
5978	58644.18	0.157	152	283.53	206.84	0.10	199924.04
5945	58320.45	0.300	152	283.53	205.69	0.20	104218.57
5910	57977.1	0.600	152	283.53	204.48	0.39	51802.50
5840	57290.4	0.900	152	283.53	202.06	0.59	34125.96
5810	56996.1	1.200	152	283.53	201.02	0.79	25462.99
5780	56701.8	1.600	152	283.53	199.99	1.05	18998.63
5750	56407.5	2.750	152	283.53	198.95	1.81	10996.38
5600	54936	3.250	152	283.53	193.76	2.14	9061.90
5450	53464.5	3.750	152	283.53	188.57	2.47	7643.28
5350	52483.5	4.250	152	283.53	185.11	2.80	6620.33
5230	51306.3	4.750	152	283.53	180.96	3.13	5790.59
4950	48559.5	5.25	152	283.53	171.27	3.45	4958.62
4850	47578.5	5.750	152	283.53	167.81	3.78	4435.97
4750	46597.5	6.25	152	283.53	164.35	4.11	3996.94
4445	43605.45	6.750	153	283.53	153.80	4.41	3486.02
3945	38700.45	7.25	154	283.53	136.50	4.71	2899.35
3495	34285.95	7.750	155	283.53	120.93	5.00	2418.51
3345	32814.45	8.25	152	283.53	115.74	5.43	2132.34



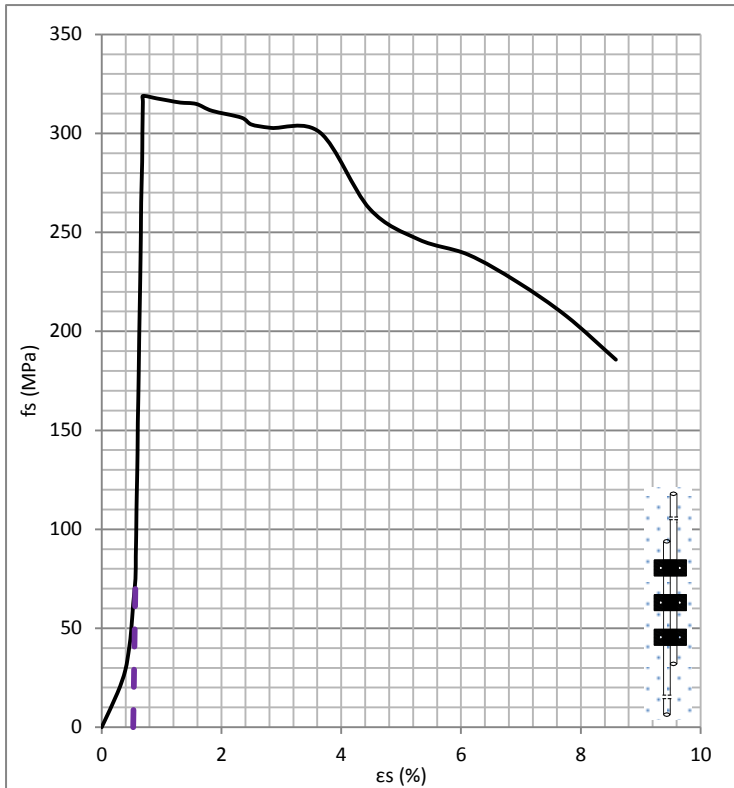
Gambar LII.35. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* sebelum disesuaikan



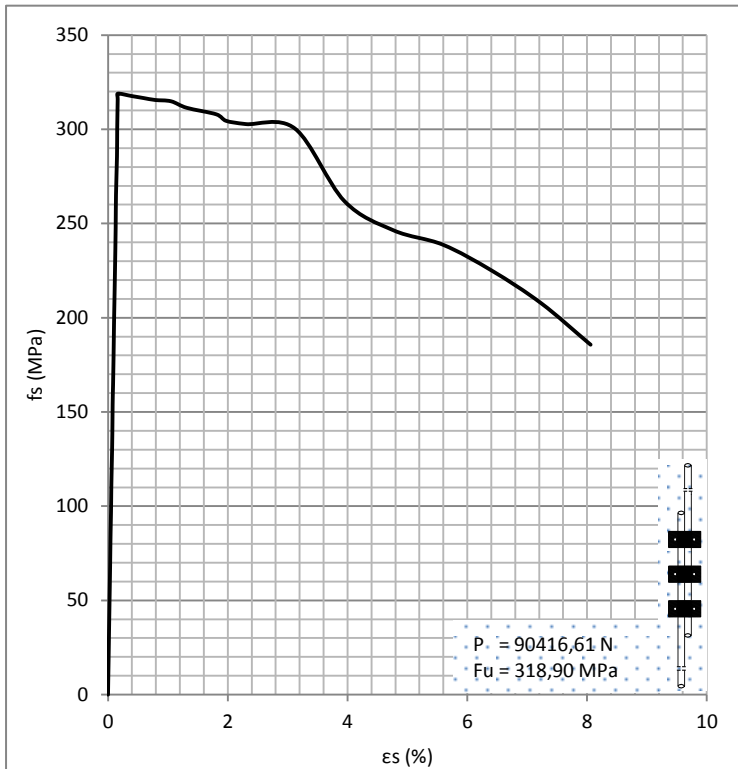
Gambar LII.36. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan dua pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.19. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0) \cdot 100$ (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500.00	4905.00	0.01	152	283.53	17.30	0.01	192669.03
832.13	8163.20	0.02	152	283.53	28.79	0.01	193819.04
1166.67	11445.03	0.03	152	283.53	40.37	0.02	196703.64
1416.50	13895.87	0.04	152	283.53	49.01	0.03	194782.65
1800.00	17658.00	0.05	152	283.53	62.28	0.03	193830.85
2166.67	21255.03	0.06	152	283.53	74.97	0.04	197730.68
2496.13	24487.04	0.07	152	283.53	86.37	0.04	199930.57
2800.00	27468.00	0.08	152	283.53	96.88	0.05	193269.39
3166.67	31065.03	0.08	152	283.53	109.57	0.05	199820.18
3583.30	35152.17	0.10	152	283.53	123.98	0.06	193091.93
4000.00	39240.00	0.11	152	283.53	138.40	0.07	190869.91
4450.00	43654.50	0.12	152	283.53	153.97	0.08	199371.08
4750.00	46597.50	0.13	152	283.53	164.35	0.08	195041.90
5166.67	50685.03	0.14	152	283.53	178.76	0.09	193901.78
5666.67	55590.03	0.15	152	283.53	196.06	0.10	196124.48
6000.00	58860.00	0.16	152	283.53	207.60	0.11	194933.07
6500.00	63765.00	0.18	152	283.53	224.90	0.12	192871.59
7166.67	70305.03	0.19	152	283.53	247.96	0.13	193871.94
7666.67	75210.03	0.20	152	283.53	265.26	0.13	199200.31
8249.90	80931.52	0.23	152	283.53	285.44	0.15	190780.39
8666.67	85020.03	0.23	152	283.53	299.86	0.15	195281.33
9133.33	89597.97	0.25	152	283.53	316.01	0.16	195457.09
9216.78	90416.61	0.25	152	283.53	318.90	0.16	196431.96
9180.78	90063.45	0.60	152	283.53	317.65	0.39	80471.64
9150.00	89761.50	0.90	152	283.53	316.59	0.59	53467.89
9120.00	89467.20	1.20	152	283.53	315.55	0.79	39969.44
9100.00	89271.00	1.60	152	283.53	314.86	1.05	29911.34
9000.00	88290.00	2.00	152	283.53	311.40	1.32	23666.12
8900.00	87309.00	2.75	152	283.53	307.94	1.81	17020.48
8800.00	86328.00	3.00	152	283.53	304.48	1.97	15426.80
8750.56	85842.99	3.50	152	283.53	302.77	2.30	13148.68
8679.45	85145.40	4.75	152	283.53	300.31	3.13	9609.77
7569.67	74258.46	6.00	152	283.53	261.91	3.95	6634.99
7120.55	69852.60	7.25	152	283.53	246.37	4.77	5165.23
6900.56	67694.49	8.50	152	283.53	238.76	5.59	4269.53
6500.00	63765.00	9.75	152	283.53	224.90	6.41	3506.09
6000.50	58864.91	11.00	152	283.53	207.61	7.24	2868.86
5366.67	52647.03	12.25	152	283.53	185.68	8.06	2304.00



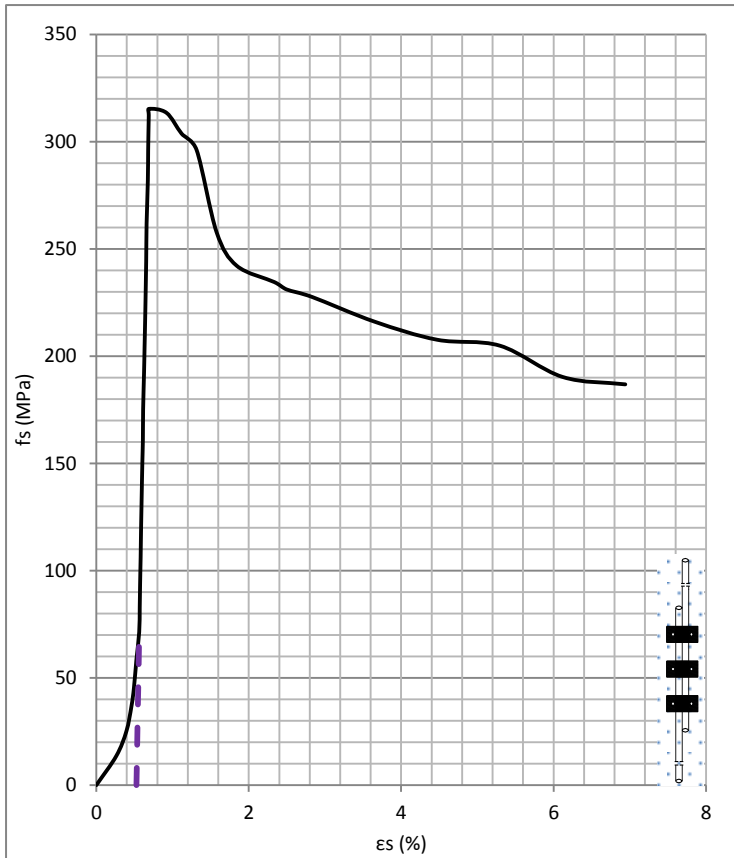
Gambar LII.37. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan



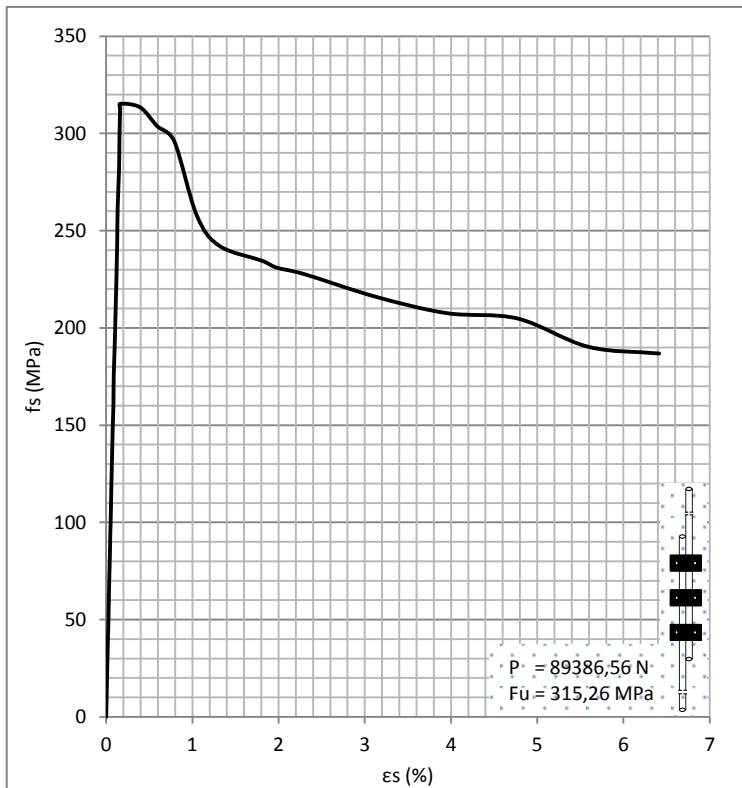
Gambar LII.38. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII. 20. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan tiga pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (mpa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (Mpa)
0.00	0.00	0.0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
395.00	3874.95	0.01	152	283.53	13.67	0.01	192208.54
727.13	7133.15	0.02	152	283.53	25.16	0.01	199362.53
1061.67	10414.98	0.03	152	283.53	36.73	0.02	199000.36
1311.50	12865.82	0.04	152	283.53	45.38	0.02	190344.12
1695.00	16627.95	0.05	152	283.53	58.65	0.03	192524.05
2061.67	20224.98	0.05	152	283.53	71.33	0.04	198148.36
2391.13	23456.99	0.07	152	283.53	82.73	0.04	191520.47
2695.00	26437.95	0.07	152	283.53	93.25	0.05	196021.79
3061.67	30034.98	0.08	152	283.53	105.93	0.05	193194.57
3478.30	34122.12	0.09	152	283.53	120.35	0.06	197433.83
3895.00	38209.95	0.10	152	283.53	134.77	0.07	195859.57
4345.00	42624.45	0.12	152	283.53	150.34	0.08	194666.82
4645.00	45567.45	0.13	152	283.53	160.72	0.08	190730.45
5061.67	49654.98	0.13	152	283.53	175.13	0.09	199961.20
5561.67	54559.98	0.15	152	283.53	192.43	0.10	192490.41
5895.00	57829.95	0.16	152	283.53	203.96	0.11	191521.74
6395.00	62734.95	0.18	152	283.53	221.26	0.12	189755.97
7061.67	69274.98	0.19	152	283.53	244.33	0.13	191031.49
7561.67	74179.98	0.20	152	283.53	261.63	0.13	196472.13
8144.90	79901.47	0.23	152	283.53	281.81	0.15	188352.25
8561.67	83989.98	0.23	152	283.53	296.23	0.15	192915.42
9028.33	88567.92	0.25	152	283.53	312.38	0.16	193210.05
9111.78	89386.56	0.25	152	283.53	315.26	0.16	194194.16
9058.78	88866.63	0.60	152	283.53	313.43	0.39	79402.28
8778.56	86117.67	0.90	152	283.53	303.73	0.59	51297.39
8557.45	83948.58	1.20	152	283.53	296.08	0.79	37504.00
7447.67	73061.64	1.60	152	283.53	257.69	1.05	24480.20
6998.55	68655.78	2.00	152	283.53	242.15	1.32	18403.17
6778.56	66497.67	2.75	152	283.53	234.54	1.81	12963.41
6678.00	65511.18	3.00	152	283.53	231.06	1.97	11706.84
6578.50	64535.09	3.50	152	283.53	227.61	2.30	9884.92
6244.67	61260.21	4.75	152	283.53	216.06	3.13	6914.02
6000.90	58868.83	6.00	152	283.53	207.63	3.95	5259.93
5920.89	58083.93	7.25	152	283.53	204.86	4.77	4295.00
5500.00	53955.00	8.50	152	283.53	190.30	5.59	3402.97
5400.00	52974.00	9.75	152	283.53	186.84	6.41	2912.75



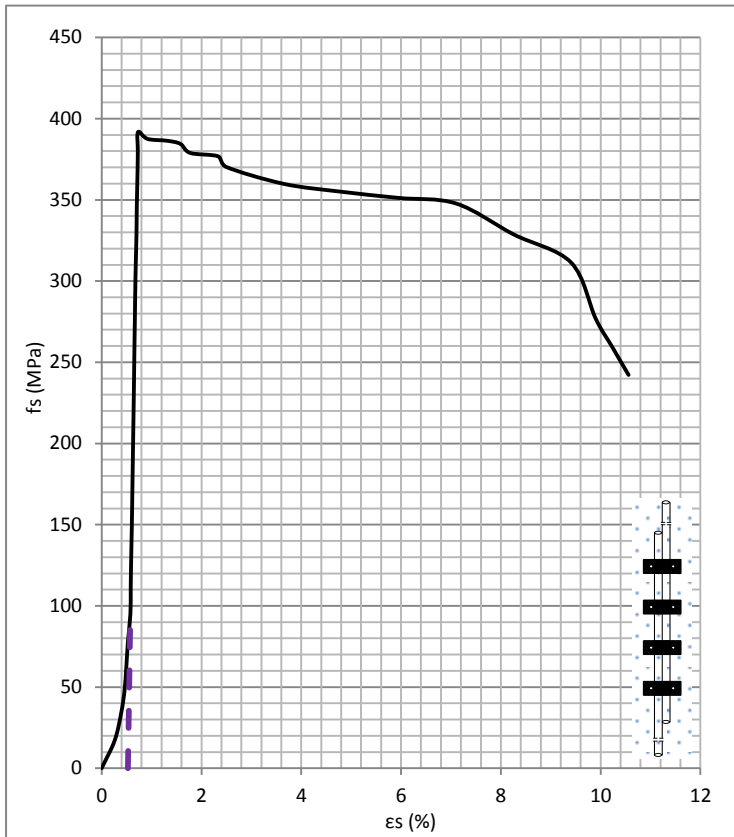
Gambar LII.39. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* sebelum disesuaikan



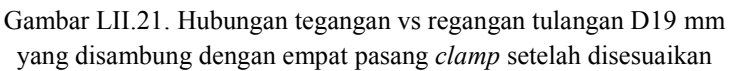
Gambar LII.40 . Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan tiga pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.21. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan empat pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L_0) \cdot 100$ (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500.00	4905.00	0.01	152	283.53	17.30	0.01	197300.75
1000.00	9810.00	0.03	152	283.53	34.60	0.02	193142.71
1400.00	13734.00	0.04	152	283.53	48.44	0.02	193868.95
1791.67	17576.28	0.05	152	283.53	61.99	0.03	194963.67
2250.00	22072.50	0.06	152	283.53	77.85	0.04	197774.11
2750.00	26977.50	0.08	152	283.53	95.15	0.05	190695.86
3200.00	31392.00	0.08	152	283.53	110.72	0.06	198292.39
3700.00	36297.00	0.10	152	283.53	128.02	0.06	199207.02
4283.34	42019.57	0.12	152	283.53	148.20	0.08	190656.61
5000.00	49050.00	0.14	152	283.53	173.00	0.09	191867.23
5700.00	55917.00	0.16	152	283.53	197.22	0.10	193277.93
6500.00	63765.00	0.18	152	283.53	224.90	0.12	194410.16
7250.00	71122.50	0.19	152	283.53	250.85	0.13	197343.00
8000.00	78480.00	0.21	152	283.53	276.80	0.14	199034.46
8750.00	85837.50	0.23	152	283.53	302.75	0.15	199755.66
9500.00	93195.00	0.26	152	283.53	328.70	0.17	191679.28
10000.00	98100.00	0.27	152	283.53	346.00	0.18	194531.13
10666.67	104640.03	0.30	152	283.53	369.06	0.19	190160.95
11000.00	107910.00	0.30	152	283.53	380.60	0.20	191875.65
11323.66	111085.10	0.31	152	283.53	391.79	0.20	192105.42
11200.00	109872.00	0.60	152	283.53	387.52	0.39	98170.56
11166.70	109545.33	1.20	152	283.53	386.36	0.79	48939.34
11110.90	108997.93	1.60	152	283.53	384.43	1.05	36521.09
10950.00	107419.50	1.90	152	283.53	378.87	1.25	30309.24
10890.00	106830.90	2.75	152	283.53	376.79	1.81	20826.18
10700.00	104967.00	3.00	152	283.53	370.22	1.97	18757.59
10400.00	102024.00	4.75	152	283.53	359.84	3.13	11514.74
10260.00	100650.60	6.50	152	283.53	354.99	4.28	8301.35
10150.00	99571.50	8.25	152	283.53	351.19	5.43	6470.33
10050.00	98590.50	10.00	152	283.53	347.73	6.58	5285.43
9500.67	93201.57	11.75	152	283.53	328.72	7.73	4252.37
9000.00	88290.00	13.50	152	283.53	311.40	8.88	3506.09
8000.00	78480.00	14.25	152	283.53	276.80	9.38	2952.50
7500.00	73575.00	14.75	152	283.53	259.50	9.70	2674.14
7000.00	68670.00	15.25	152	283.53	242.20	10.03	2414.03



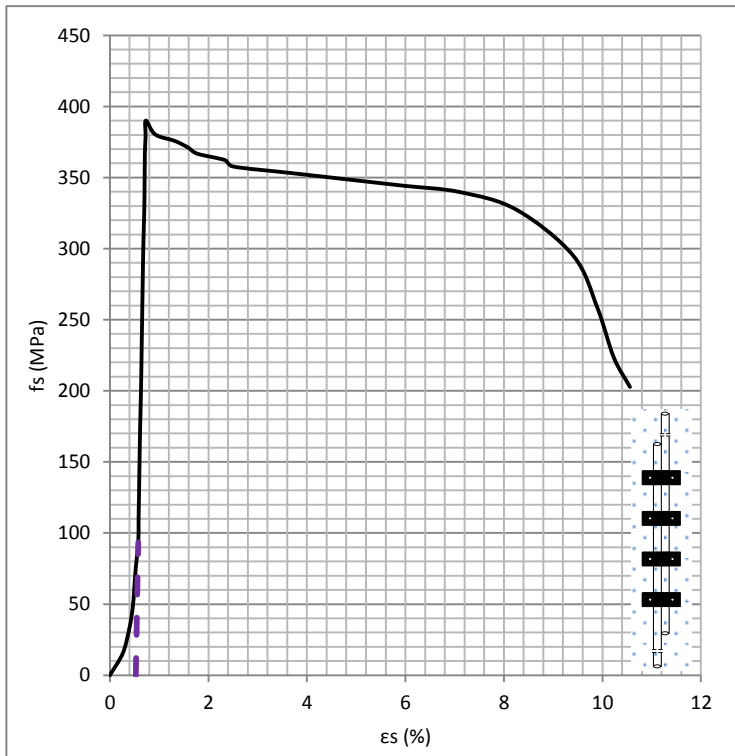
Gambar LII.41. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* sebelum disesuaikan



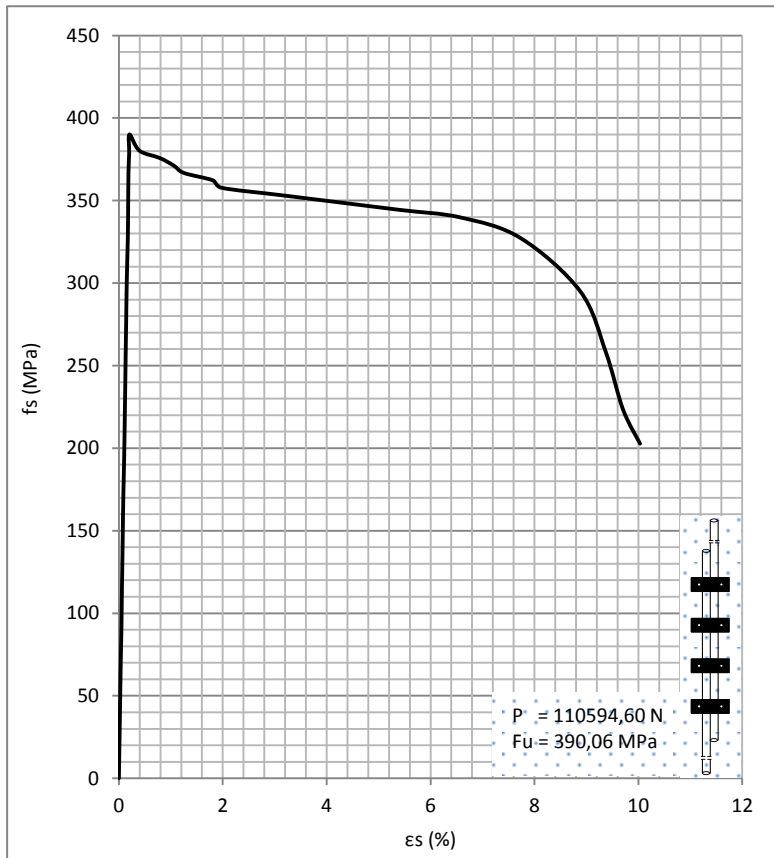
Gambar LII.21. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.22. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan empat pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L0)$ 100 (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
450.00	4414.50	0.01	152	283.53	15.57	0.01	197570.68
950.00	9319.50	0.03	152	283.53	32.87	0.02	193485.57
1350.00	13243.50	0.04	152	283.53	46.71	0.02	196945.06
1741.67	17085.78	0.05	152	283.53	60.26	0.03	199522.83
2200.00	21582.00	0.06	152	283.53	76.12	0.04	193379.13
2700.00	26487.00	0.08	152	283.53	93.42	0.05	187228.66
3150.00	30901.50	0.08	152	283.53	108.99	0.06	195194.07
3650.00	35806.50	0.10	152	283.53	126.29	0.06	196515.03
4233.34	41529.07	0.11	152	283.53	146.47	0.07	198431.05
4950.00	48559.50	0.13	152	283.53	171.27	0.09	199948.56
5650.00	55426.50	0.16	152	283.53	195.49	0.10	191582.51
6450.00	63274.50	0.18	152	283.53	223.17	0.12	192914.70
7200.00	70632.00	0.19	152	283.53	249.12	0.13	195982.01
7950.00	77989.50	0.21	152	283.53	275.07	0.14	197790.49
8700.00	85347.00	0.23	152	283.53	301.02	0.15	198614.20
9450.00	92704.50	0.26	152	283.53	326.97	0.17	190670.44
9950.00	97609.50	0.27	152	283.53	344.27	0.18	193558.47
10616.67	104149.53	0.28	152	283.53	367.33	0.18	199269.57
10950.00	107419.50	0.30	152	283.53	378.87	0.20	191003.49
11273.66	110594.60	0.31	152	283.53	390.06	0.20	191257.17
10990.00	107811.90	0.60	152	283.53	380.25	0.39	96329.86
10860.00	106536.60	1.20	152	283.53	375.75	0.79	47595.19
10730.00	105261.30	1.60	152	283.53	371.25	1.05	35269.09
10600.00	103986.00	1.90	152	283.53	366.76	1.25	29340.45
10470.00	102710.70	2.75	152	283.53	362.26	1.81	20022.97
10340.00	101435.40	3.00	152	283.53	357.76	1.97	18126.49
10210.00	100160.10	4.75	152	283.53	353.26	3.13	11304.38
10080.00	98884.80	6.50	152	283.53	348.76	4.28	8155.71
9950.00	97609.50	8.25	152	283.53	344.27	5.43	6342.84
9820.00	96334.20	10.00	152	283.53	339.77	6.58	5164.47
9460.67	92809.17	11.75	152	283.53	327.34	7.73	4234.46
8527.67	83656.44	13.50	152	283.53	295.05	8.88	3322.09
7460.00	73182.60	14.25	152	283.53	258.11	9.38	2753.20
6460.00	63372.60	14.75	152	283.53	223.51	9.70	2303.32
5860.00	57486.60	15.25	152	283.53	202.75	10.03	2020.89



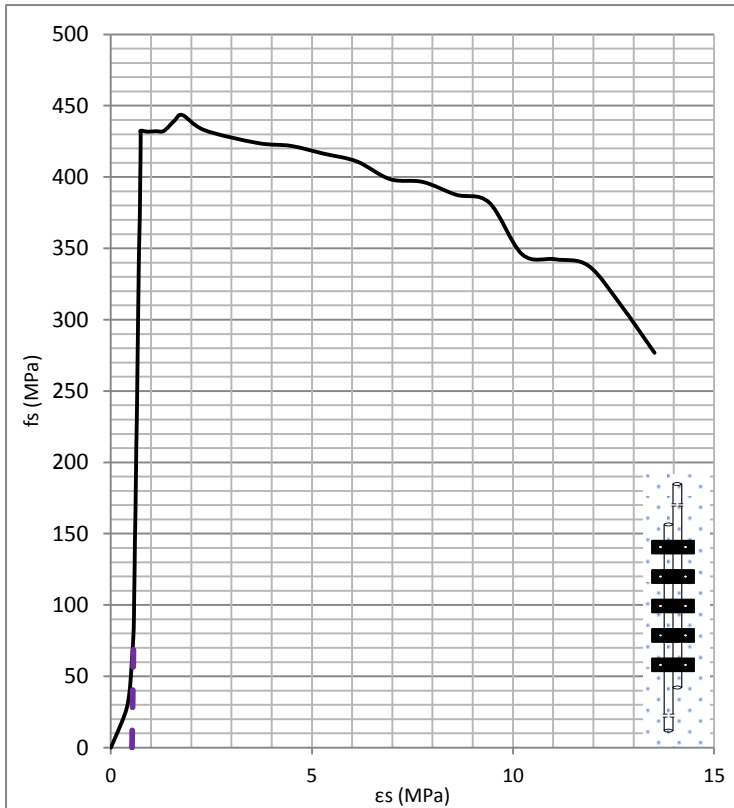
Gambar LII.43. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* sebelum disesuaikan



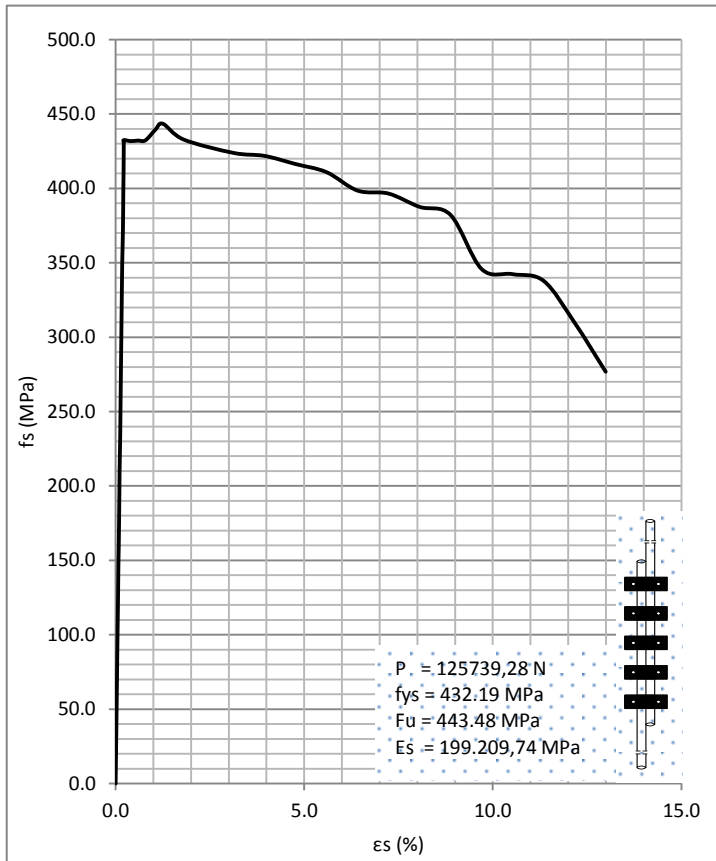
Gambar LII.44. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan empat pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.23. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung menggunakan lima pasang *clamp*

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L0 (mm)	A (mm ²)	$\delta = P/A$ (MPa)	$\epsilon = (\Delta L/L_0) \cdot 100$ (%)	E (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500.00	4905.00	0.01	152	283.53	17.30	0.01	191478.43
800.00	7848.00	0.02	152	283.53	27.68	0.01	190243.66
1100.00	10791.00	0.03	152	283.53	38.06	0.02	194626.27
1400.00	13734.00	0.04	152	283.53	48.44	0.02	197255.84
1800.00	17658.00	0.05	152	283.53	62.28	0.03	190261.06
2398.00	23524.38	0.06	152	283.53	82.97	0.04	197642.64
3000.00	29430.00	0.08	152	283.53	103.80	0.05	197774.11
3580.00	35119.80	0.10	152	283.53	123.87	0.06	193719.23
4200.00	41202.00	0.11	152	283.53	145.32	0.07	199910.58
4600.00	45126.00	0.13	152	283.53	159.16	0.08	192800.22
5100.00	50031.00	0.14	152	283.53	176.46	0.09	193042.58
5685.00	55769.85	0.15	152	283.53	196.70	0.10	195871.73
6100.00	59841.00	0.16	152	283.53	211.06	0.11	198226.31
6750.00	66217.50	0.18	152	283.53	233.55	0.12	192047.06
7600.00	74556.00	0.20	152	283.53	262.96	0.13	195904.38
8596.00	84326.76	0.23	152	283.53	297.42	0.15	198364.76
9300.00	91233.00	0.25	152	283.53	321.78	0.16	199573.55
10100.00	99081.00	0.27	152	283.53	349.46	0.17	199704.59
10750.00	105457.50	0.30	152	283.53	371.95	0.19	191646.52
11500.00	112815.00	0.31	152	283.53	397.90	0.20	195097.02
11875.00	116493.75	0.32	152	283.53	410.87	0.21	195163.29
12300.00	120663.00	0.33	152	283.53	425.57	0.22	197820.76
12400.00	121644.00	0.33	152	283.53	429.03	0.22	198821.04
12450.00	122134.50	0.33	152	283.53	430.76	0.22	199015.98
12500.00	122625.00	0.33	152	283.53	432.49	0.22	199209.74
12480.00	122428.80	0.60	152	283.53	431.80	0.39	109390.05
12490.00	122526.90	0.90	152	283.53	432.15	0.59	72985.14
12495	122575.95	1.20	152	283.53	432.32	0.79	54760.77
12700	124587.00	1.60	152	283.53	439.41	1.05	41744.40
12817.46	125739.28	1.90	152	283.53	443.48	1.25	35478.31
12508.5	122708.39	2.75	152	283.53	432.79	1.81	23921.42
12250.48	120177.21	4.75	152	283.53	423.86	3.13	13563.57
12192.46	119608.03	6.00	152	283.53	421.85	3.95	10686.97
12034.44	118057.86	7.25	152	283.53	416.39	4.77	8729.76
11876.42	116507.68	8.50	152	283.53	410.92	5.59	7348.20
11518.4	112995.50	9.75	152	283.53	398.53	6.41	6213.01
11460.38	112426.33	11.00	152	283.53	396.52	7.24	5479.25
11202.36	109895.15	12.25	152	283.53	387.60	8.06	4809.37
11044.34	108344.98	13.50	152	283.53	382.13	8.88	4302.50
9993.9	98040.16	14.75	152	283.53	345.78	9.70	3563.34
9895	97069.95	16.00	152	283.53	342.36	10.53	3252.45
9765	95794.65	17.25	152	283.53	337.86	11.35	2977.13
8950	87799.50	18.50	152	283.53	309.67	12.17	2544.29
8000	78480.00	19.75	152	283.53	276.80	12.99	2130.28



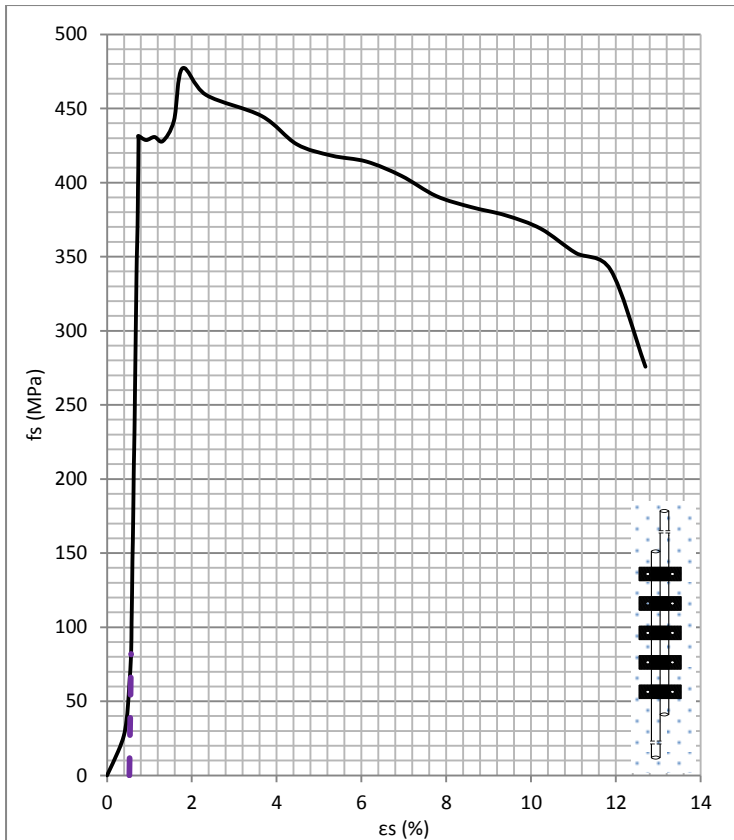
Gambar LII.45. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan lima pasang *clamp* sebelum disesuaikan



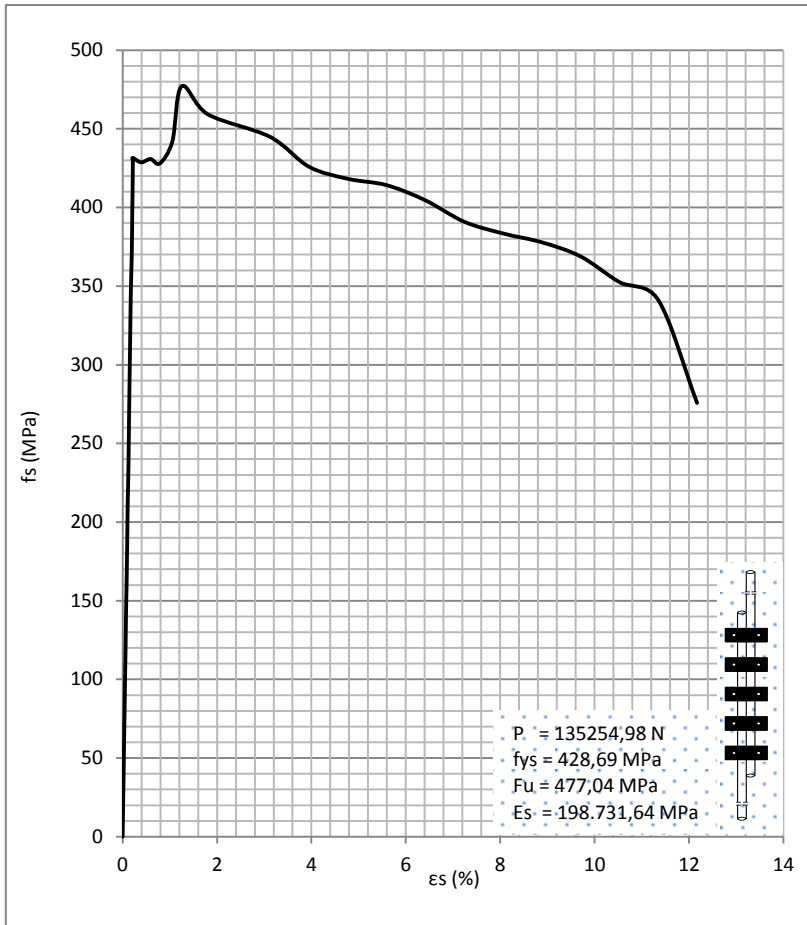
Gambar LII.23. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan lima pasang *clamp* setelah disesuaikan

Tabel LII.24. Hasil analisa kuat tarik baja tulangan D19 mm yang

P (kg)	P (N)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A (mm ²)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0
470.00	4610.70	0.013	152	283.53	16.26	0.01	193589.72
770.00	7553.70	0.021	152	283.53	26.64	0.01	194984.52
1070.00	10496.70	0.030	152	283.53	37.02	0.02	190681.92
1370.00	13439.70	0.037	152	283.53	47.40	0.02	194100.36
1770.00	17363.70	0.047	152	283.53	61.24	0.03	197756.71
2368.00	23230.08	0.064	152	283.53	81.93	0.04	195670.46
2970.00	29135.70	0.080	152	283.53	102.76	0.05	196196.37
3550.00	34825.50	0.097	152	283.53	122.83	0.06	192347.28
4170.00	40907.70	0.110	152	283.53	144.28	0.07	198698.94
4570.00	44831.70	0.125	152	283.53	158.12	0.08	191673.26
5070.00	49736.70	0.139	152	283.53	175.42	0.09	192024.68
5655.00	55475.55	0.153	152	283.53	195.66	0.10	194943.65
6070.00	59546.70	0.162	152	283.53	210.02	0.11	197349.79
6720.00	65923.20	0.185	152	283.53	232.51	0.12	191237.96
7570.00	74261.70	0.204	152	283.53	261.92	0.13	195170.55
8566.00	84032.46	0.228	152	283.53	296.38	0.15	197707.37
9270.00	90938.70	0.245	152	283.53	320.74	0.16	198962.02
10070.00	98786.70	0.266	152	283.53	348.42	0.17	199141.11
10720.00	105163.20	0.295	152	283.53	370.91	0.19	191111.70
11470.00	112520.70	0.310	152	283.53	396.86	0.20	194588.07
11845.00	116199.45	0.320	152	283.53	409.83	0.21	194670.25
12270.00	120368.70	0.327	152	283.53	424.54	0.22	197338.27
12370.00	121349.70	0.328	152	283.53	428.00	0.22	198340.02
12420.00	121840.20	0.329	152	283.53	429.73	0.22	198536.42
12470.00	122330.70	0.330	152	283.53	431.46	0.22	198731.64
12390.00	121545.90	0.600	152	283.53	428.69	0.39	108601.18
12450.00	122134.50	0.900	152	283.53	430.76	0.59	72751.40
12370	121349.70	1.200	152	283.53	428.00	0.79	54212.94
12770	125273.70	1.600	152	283.53	441.84	1.05	41974.49
13787.46	135254.98	1.900	152	283.53	477.04	1.25	38163.23
13270.34	130182.04	2.750	152	283.53	459.15	1.81	25378.38
12856.69	126124.13	4.750	152	283.53	444.84	3.13	14234.76
12308.81	120749.43	6.000	152	283.53	425.88	3.95	10788.95
12087	118573.47	7.250	152	283.53	418.21	4.77	8767.89
11970	117425.70	8.500	152	283.53	414.16	5.59	7406.10
11691.98	114698.32	9.750	152	283.53	404.54	6.41	6306.64
11298	110833.38	11.000	152	283.53	390.91	7.24	5401.61
11082.89	108723.15	12.250	152	283.53	383.46	8.06	4758.08
10920.25	107127.65	13.500	152	283.53	377.84	8.88	4254.15
10660.5	104579.51	14.750	152	283.53	368.85	9.70	3801.02
10189	99954.09	16.000	152	283.53	352.54	10.53	3349.08
9859	96716.79	17.250	152	283.53	341.12	11.35	3005.79
7970	78185.70	18.500	152	283.53	275.76	12.17	2265.69













Gambar LII.47. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan lima pasang *clamp* sebelum disesuaikan








Gambar LII.48. Hubungan tegangan vs regangan tulangan D19 mm yang disambung dengan lima pasang *clamp* setelah disesuaikan






LAMPIRAN III
DOKUMENTASI FOTO-FOTO PENELITIAN






NO	GAMBAR	KETERANGAN
1		Mesin UTM (Universal testing machine) yang digunakan sebagai alat uji tarik tulangan baja beton dengan kapasitas load cell 100 ton, dengan kecepatan dari 0,2 mm/menit sampai 500 mm/menit.
2		Proses pengencangan baut untuk semua jenis tulangan yang disambung dengan menggunakan diameter baut yang berbeda serta kekencangan baut yang berbeda untuk setiap diameter tulangan yang di uji : 1. Untuk D13 mm: db 8 mm, torsi 25 lb-ft 2. Untuk D16 mm: db 10 mm, torsi 35 lb-ft 3. Untuk D19 mm: db 12 mm, torsi 45 lb-ft
3		Persiapan benda uji untuk tulangn D13 mm
4		Persiapan benda uji untuk tulangn D16 mm
5		Persiapan benda uji untuk tulangn D19 mm

NO	GAMBAR	KETERANGAN
6		Proses pengujian kuat tarik menggunakan 1 pasang clamp untuk tulangan baja D13 mm, D16 mm, dan D19 mm
7		Proses pengujian kuat tarik menggunakan 2 pasang clamp untuk tulangan baja D13 mm, D16 mm, dan D19 mm
8		Proses pengujian kuat tarik menggunakan 3 pasang clamp untuk tulangan baja D13 mm, D16 mm, dan D19 mm
9		Proses pengujian kuat tarik menggunakan 4 pasang clamp untuk tulangan baja D16 mm, dan D19 mm
10		Proses pengujian kuat tarik menggunakan 5 pasang clamp untuk tulangan baja D19 mm

NO	GAMBAR	KETERANGAN
11		Proses pemasangan benda uji kedalam mesin uji untuk dilakukan pengujian kuat tarik.
12		Pengukuran diameter benda uji dengan menggunakan alat kaliper.
13		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 1 pasang clamp menghasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 19865,91 \text{ N}$ $F_u = 149,67 \text{ MPa}$</p>
14		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 2 pasang clamp menghasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 40467,86 \text{ N}$ $F_u = 304,88 \text{ MPa}$</p>
15		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 5 pasang clamp sudah mengalami leleh pada tulangan dengan hasil sebagai berikut:</p> <p>$P = 69205,24 \text{ N}$ $f_y = 459,58 \text{ MPa}$ $F_u = 521,39 \text{ MPa}$ $E_s = 197291,39 \text{ MPa}$</p>

NO	GAMBAR	KETERANGAN
16		Proses pengujian kuat tarik baja tulangan normal untuk D19 mm.
17		Proses pengujian kuat tarik baja tulangan normal untuk D16 mm.
18		Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm menghasilkan gaya tarik sebesar: $f_{ys} = 435,184 \text{ MPa}$ $f_u = 608,91 \text{ MPa}$ $E_s = 200.897,24 \text{ MPa}$ $e_s = 20,39\%$
19		Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm menghasilkan gaya tarik sebesar: $f_{ys} = 478,84 \text{ MPa}$ $f_u = 605,9 \text{ MPa}$ $E_s = 202587,9 \text{ MPa}$ $e_s = 21,48 \%$
20		Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm menghasilkan gaya tarik sebesar: $f_{ys} = 480,047 \text{ MPa}$ $f_u = 648,73 \text{ MPa}$ $E_s = 194.718,7 \text{ MPa}$ $e_s = 20,48 \%$

NO	GAMBAR	KETERANGAN
21		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 1 pasang clamp mengasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 27595,53 \text{ N}$ $F_u = 97,33 \text{ MPa}$</p>
22		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 2 pasang clamp mengasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 59134,68 \text{ N}$ $F_u = 208,57 \text{ MPa}$</p>
23		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 3 pasang clamp mengasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 90416,61 \text{ N}$ $F_u = 318,90 \text{ MPa}$</p>
24		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 4 pasang clamp mengasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 111085,10 \text{ N}$ $F_u = 391,79 \text{ MPa}$</p>
25		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D19 mm yang disambung dengan menggunakan 5 pasang clamp sudah mengalami leleh pada tulangan dengan hasil sebagai berikut:</p> <p>$P = 135254,98 \text{ N}$ $f_{ys} = 428,69 \text{ MPa}$ $F_u = 477,04 \text{ MPa}$ $E_s = 198.731,64 \text{ MPa}$</p>

NO	GAMBAR	KETERANGAN
26		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung dengan menggunakan 1 pasang clamp menghasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 22356,99 \text{ N}$</p> <p>$F_u = 111,19 \text{ MPa}$</p>
27		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung dengan menggunakan 2 pasang clamp menghasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 49288,912 \text{ N}$</p> <p>$F_u = 245,14 \text{ MPa}$</p>
28		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung dengan menggunakan 3 pasang clamp menghasilkan gaya tarik sebesar</p> <p>$P = 74749,05 \text{ N}$</p> <p>$F_u = 371,77 \text{ MPa}$</p>
29		<p>Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D16 mm yang disambung dengan menggunakan 4 pasang clamp sudah mengalami leleh pada tulangan dengan hasil sebagai berikut:</p> <p>$P = 114875,1 \text{ N}$</p> <p>$f_y = 461,629 \text{ MPa}$</p> <p>$F_u = 571,74 \text{ MPa}$</p> <p>$E_s = 197.055,40 \text{ MPa}$</p>
30		<p>Proses pengencangan baut untuk semua jenis tulangan yang disambung dengan menggunakan diameter baut yang berbeda serta kekencangan baut yang berbeda untuk setiap diameter tulangan yang di uji :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk D13 mm: db 8 mm, torsi 25 lb-ft 2. Untuk D16 mm: db 10 mm, torsi 35 lb-ft 3. Untuk D19 mm: db 12 mm, torsi 45 lb-ft

USULAN CLAMP SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK

ABSTRAK

Baja tulangan merupakan bahan yang sangat penting dalam konstruksi, tidak dapat dihindari mengingat baja tulangan merupakan salah satu faktor penentu dalam kuat atau tidaknya konstruksi beton bertulang. Penyambungan pada baja tulangan dilakukan karena keterbatasan panjang produksi dan kondisi. Peraturan secara eksplisit tidak merekomendasikan ataupun melarang jenis tertentu dari suatu sambungan. Pada penelitian ini dikembangkan penggunaan konfigurasi sambungan mekanis dengan sambungan lewatan. Tinjauan penelitian meliputi aspek teknis yaitu dari segi kekuatan sambungan mekanis terhadap gaya tarik, selain itu juga ditinjau dari kemudahan didalam pembuatan dan pelaksanaannya.

Penelitian yang dilakukan layak uji tarik tulangan, variabelnya adalah jumlah *clamp*, dengan konfigurasi untuk D13 mm dilaksanakan pengujian 1 *clamp* sampai 3 *clamp*, untuk D16 mm dilaksanakan pengujian 1 *clamp* sampai 4 *clamp*, dan untuk D19 mm dilakukan pengujian 1 *clamp* sampai 5 *clamp*. Dan sebagai bahan pengontrol dilakukan pengujian tarik tulangan utuh untuk setiap diameter tulangan.

Hasil penelitian didapatkan kekuatan *clamp* naik signifikan sesuai jumlahnya, jumlah *clamp* yang paling optimum untuk D13 mm menggunakan 3 pasang *clamp* didapatkan kuat tarik maksimum sebesar 545,41 MPa, untuk D16 mm hasil yang paling optimum menggunakan 4 pasang *clamp* didapatkan kuat tarik maksimum sebesar 571,34 MPa, dan untuk D19 mm hasil yang paling optimum menggunakan 5 pasang *clamp* didapatkan kuat tarik maksimum sebesar 478,08 MPa. Hasil uji tarik yang dilakukan dengan menggunakan 3 pasang *clamp* untuk D13 mm, 4 pasang *clamp* untuk D16 mm, dan 5 pasang *clamp* untuk D19 mm, sudah mengalami leleh ini diketahui dari bentuk grafik yang diperoleh, serta dari bahan perbandingan dengan hasil uji tarik tulangan

yang normal. Untuk penelitian berikutnya perlu dilakukan dengan peningkatan mutu dari bahan *clamp* dengan panjang lewatan yang paling optimum serta kemudahan dalam pelaksanaannya dan memperhitungkan biaya seminimal mungkin. *Kata*

kunci: clamp, kekuatan tarik, sambungan lewatan, sambungan mekanis, tulangan baja.

I. PENDAHULUAN

Beton bertulang telah dikenal luas dalam penggunaan material struktur bangunan, dengan pertimbangan pemanfaatan kelebihan perilaku yang dimiliki masing-masing komponen pembentuknya, dimana beton mempunyai kuat tekan yang sangat besar dibanding kuat tariknya, untuk mengeliminasi kuat tariknya yang rendah maka beton dipadukan secara komposit dengan baja tulangan yang memiliki kuat tarik yang besar. Baja tulangan yang diperlukan sering kali lebih panjang dari baja tulangan yang tersedia dikarenakan terbatasnya ukuran panjang dari produksi pabrik atau penggunaan baja tulangan yang tidak utuh lagi, untuk mengatasi hal ini dilakukan penyambungan pada baja tulangan. Menurut [Lancelot, 1985] penyambungan tulangan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu melalui; sambungan lewatan (*lap splice*), sambungan las (*welded splice*) dan sambungan mekanis (*mechanical connections*).

Sambungan merupakan bagian struktur beton pracetak yang paling penting dalam mentransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi antara komponen-komponen beton pracetak yang disambung [Castro, 1992]. Penempatan dan kekuatan sambungan perlu direncanakan dengan baik sehingga kehadirannya tidak menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur. Kebutuhan panjang sambungan lewatan (*lap splice*) berhubungan dengan panjang

penyaluran tegangan (l_d) yang bertambah sesuai dengan peningkatan tegangan. Panjang penyaluran adalah panjang penambatan yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan leleh pada tulangan yang merupakan fungsi dari tegangan leleh baja (f_y), diameter tulangan dan tegangan lekat [Dipohusodo,1994]. Kebutuhan panjang lewatan ini harus diperhitungkan untuk menghindari dari keruntuhan sambungan.

SNI-03-2847-2002 pasal 14.1 menyebutkan gaya tarik pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang pengangkuran, kait atau alat mekanis, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.

Sambungan las dan sambungan mekanis menurut peraturan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.3, menyebutkan bahwa sambungan mekanis dan sambungan las boleh digunakan, suatu sambungan mekanis penuh atau sambungan las harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekannya, sesuai dengan yang diperlukan, paling tidak sebesar 125 % kuat leleh batang yang disambung dan hanya diperbolehkan untuk batang D16 atau yang lebih kecil. Sambungan memegang peranan yang penting terhadap kekuatan dan integritas dari suatu elemen struktur, kegagalan suatu struktur diharapkan tidak terjadi pada sambungannya, sehingga diperlukan detail sambungan yang baik. Acapkali proses penyambungan tulangan, kebutuhan panjang penyambungan, konfigurasi dan akurasi menjadi polemik pada pelaksanaannya. Peraturan secara eksplisit tidak merekomendasikan ataupun melarang satu jenis tertentu dari suatu sambungan mekanis. Berawal dari hal ini memungkinkan dilakukan penelitian untuk mencari inovasi baru jenis sambungan mekanis yang kuat dan layak secara teknis, mudah pembuatan serta pemasangannya. Didasari dari hal tersebut diatas akan dilakukan penelitian tentang jenis sambungan kombinasi antara sambungan lewatan dan sambungan mekanis, karena

masih jarang sekali ditemukan penelitian tipe dari sambungan ini. Penelitian meninjau aspek teknis yaitu dari segi kekuatan maupun integritas elemen struktur, selain itu juga ditinjau dari kemudahan didalam pembuatan dan pelaksanaannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sambungan mekanis adalah rakitan lengkap dari sebuah selongsong tumpu ujung, sebuah kopler, atau sebuah selongsong kopling, dan mungkin juga bahan atau komponen-komponen tambahan untuk menyambung batang tulangan. Penggunaan, terdapat beberapa situasi dimana penggunaan sambungan mekanis lebih praktis dari pada sambungan lewatan, yang paling umum diantaranya adalah; jika digunakan tulang berdiameter 43 mm dan 57 mm, yang umumnya dijumpai pada kolom, pondasi rakit, serta struktur-struktur dengan tulangan berat lainnya. Sambungan mekanis tekan, pada umumnya gaya tekan disalurkan secara tumpu konsentrasi dari ujung yang satu ke ujung tulangan lainnya. Sambungan mekanis tekan dapat di deskripsikan menurut, Konfigurasi, diameter tulangan yang dapat disambung, kapabilitas untuk menyambung batang-batang yang berbeda diameternya dan prosedur pemasangan. Sambungan mekanis tarik tekan, terdapat sembilan tipe komersial yang di deskripsikan menurut, Konfigurasi, kapabilitas untuk menyambung batang-batang dengan diameter yang berbeda, persiapan ujung-ujung batang, posisi sambungan mekanis, peralatan dan material untuk melaksanakan sambungan mekanis. (SNI 03-6814-2002).

Berdasarkan tinjauan peraturan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2),(5)).

1. Sambungan mekanis dan sambungan las boleh digunakan.
2. Suatu sambungan mekanis penuh harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekannya sesuai dengan yang diperlukan, paling tidak sebesar 125 % kuat leleh batang yang disambung.

3. Sambungan mekanis dan sambungan las yang tidak memenuhi ketentuan 14.14.(3(2)) atau 14.14.(3(4)) hanya diperbolehkan untuk batang D16 atau yang lebih kecil dan harus sesuai dengan ketentuan 14.15(4).

III. SAMBUNGAN MEKANIS

Sambungan dalam sebuah konstruksi tidak dapat dihindari, keterbatasan ukuran panjang dari produksi baja tulangan memaksa suatu elemen struktur harus dilakukan penyambungan. Sambungan mekanis dapat menjamin kekuatan integritas dari suatu elemen struktur.

Sambungan mekanis sangat penting dalam desain dan konstruksi bangunan tahan gempa. Kegagalan atau ketuhan bangunan pasca gempa ditentukan oleh kualitas sambungan. Sambungan mekanis berperan agar bangunan memiliki performa yang baik saat menerima beban gempa.

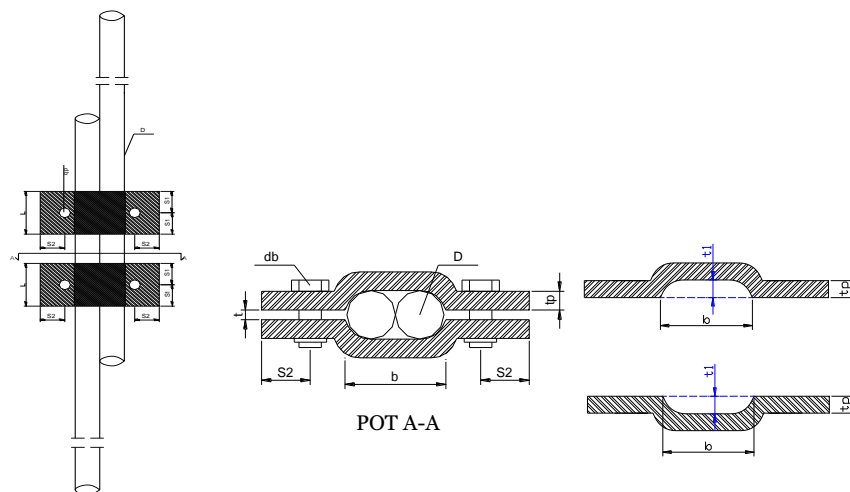
Sambungan memegang peranan yang penting terhadap kekuatan dan integritas dari suatu elemen struktur, kegagalan suatu struktur diharapkan tidak terjadi pada sambungannya, sehingga diperlukan detail sambungan yang

baik. Sering kali proses penyambungan tulangan, kebutuhan panjang penyambungan, konfigurasi dan akurasi menjadi polemik pada pelaksanaannya, sehingga dengan menggunakan sambungan mekanis dapat menghindari kegagalan pada sambungan serta mempermudah proses pelaksanaannya.

IV. KOMBINASI SAMBUNGAN MEKANIS DENGAN PANJANG LEWATAN

Dalam penelitian ini akan dibahas kombinasi sambungan mekanis dengan panjang lewatan. Sambungan mekanis yang akan digunakan berupa *clamp* yang akan digunakan untuk menyambung baja tulangan beton. Dalam penelitian ini penyambungan akan digunakan variasi dengan membedakan jumlah *clamp* dengan diameter tulangan yang sama, serta panjang lewatan akan disesuaikan dengan jumlah *clamp* yang digunakan.

Ukuran rencana parameter *clamp* yang ingin digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1. Adapun contoh kombinasi sambungan mekanis dengan panjang lewatan yang akan di uji dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Contoh gambar perletakan *clamp* sebagai sambungan mekanis

Tabel 4.1. Ukuran parameter clamp dan tulangan baja

NO	D. TUL	Panjang clamp (L)	tebal clamp (tp)	kuat leleh clamp (fy)	kuat leleh tul (fy)	D. baut (db)	t	t1	Jarak baut (mm)	
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	mm	mm	mm	s1	s2
1	13	30	5	400	400	8	2.6	5.2	15	15
2	16	30	5	400	400	10	3.2	6.4	15	20
3	19	40	5	400	400	12	3.8	7.6	20	25

catatan:
 1. Nilai t diasumsikan 20% dari diameter baja tulangan yang akan disambung
 2. spasi antar *clamp* diasumsikan 5 cm

Dalam pengujian sambungan dengan menggunakan berbagai variasi dengan membedakan jumlah clamp yang akan dipasang yaitu, untuk D13 mm digunakan 1 pasang clamp hingga 3 pasang clamp, untuk D16 mm digunakan 1 pasang clamp hingga 4 pasang clamp, dan untuk D19 mm digunakan 1 pasang clamp hingga 5 pasang clamp. Adapun foto sambungan seperti dibawah ini.

V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Mekanis Uji Tarik Baja Tulangan

Pada pengujian tarik dilakukan terhadap masing-masing diameter benda uji, setiap diameter memiliki 3 sampel benda uji . Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan Standart Nasional Indonesia (SNI-07-2052-2002). Perhitungan hasil laboratorium dari grafik setelah uji tarik terhadap material benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.2. dibawah ini.

Tabel 5.2. Hasil uji kuat tarik baja tulangan normal untuk tulangan D13 mm, D16 mm, dan D19 mm

No	Diameter nominal (mm)	Diameter terukur rata-rata (mm)	Panjang sampel (mm)	Berat nominal (gr)	Luas penampang (mm ²)	Diameter pengenal (mm)	Beban leleh (kg)	Beban max (kg)	Tegangan leleh		Tegangan max		Modulus elastisitas (MPa)	Elongation (%)
									kg/mm ²	N/mm ²	kg/mm ²	N/mm ²		
1	13	12.7	500	521.3	132.7326	13.07	6495.20	8777.53	48.93	480.05	66.13	648.73	194718.671	20.48
2	13	12.71	500	520.8	132.7326	13.06	6376.93	8677.53	48.04	471.31	65.38	641.34	191733.93	19.76
3	13	12.72	500	521.4	132.7326	13.07	6563.90	8902.98	49.45	485.12	67.07	658.00	198463.035	21.67
4	16	15.71	500	790.7	201.0624	16.10	9853.26	12539.21	49.01	480.75	62.36	611.80	205535.739	21.29
5	16	15.71	500	790.4	201.0624	16.09	9750.00	12461.58	48.49	475.71	61.98	608.01	203880.509	20.51
6	16	15.73	500	790.6	201.0624	16.10	9711.65	12418.32	48.30	473.84	61.76	605.90	202587.897	21.48
7	19	18.74	500	1109.9	283.5294	19.07	12532.17	17650.87	44.20	433.61	62.25	610.71	194312.23	21.05
8	19	18.71	500	1108.4	283.5294	19.06	12461.72	17610.63	43.95	431.17	62.11	609.32	194548.62	22.37
9	19	18.72	500	1108.7	283.5294	19.06	12577.72	17598.87	44.36	435.18	62.07	608.91	200897.24	20.39

VI. PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA TULANGAN YANG DISAMBUNG DENGAN CLAMP (SAMBUNGAN MEKANIS).

Sambungan ini terdiri dari kombinasi antara panjang lewatan dengan sambungan mekanis, dimana kedua kombinasi itu dipadukan dengan harapan layak dijadikan sebagai sambungan mekanis yang memenuhi persyaratan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2)) minimal kuat tarik yang

mampu ditahan sebesar 125% dari kuat leleh tulangan yang disambung.

1. Baja Tulangan Yang Disambung D13 mm
 Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D13 mm digunakan variasi jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang *clamp* s/d tiga (3) pasang *clamp* dengan kekencangan baut sebesar 25 lbft atau setara dengan 32,625 N. Dari hasil uji tarik yang dilakukan, tulangan yang disambung dengan menggunakan tiga

pasang clamp sudah mengalami plastis atau leleh pada tulangan yang disambung. Kuat leleh yang diperoleh dari uji tarik sebesar 471,46 MPa. Namun sambungan dengan menggunakan tiga pasang clamp masih belum mencapai kuat tarik minimal yang di syaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)) yaitu sebesar 125 % dari kuat leleh atau kuat tarik maksimum

2. Baja Tulangan Yang Disambung Diameter 16 mm

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D16 mm digunakan variasi Dari hasil uji tarik yang dilakukan, tulangan yang disambung dengan menggunakan empat pasang *clamp* sudah mengalami *plastis* atau leleh pada tulangan yang disambung. Kuat leleh yang diperoleh dari uji tarik sebesar 460,63 MPa. Sambungan dengan menggunakan empat pasang *clamp* sudah medekati kuat tarik minimal yang di syaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)) yaitu sebesar 125 % dari kuat leleh atau kuat tarik maksimum harus mencapai $125\% \times 460,63 = 575,78$ MPa , sedangkan kuat tarik maksimum (f_u) didapat sebesar 571,34 MPa $\approx 575,78$ MPa , jadi sambungan dengan menggunakan 4 *clamp* dianggap sudah memenuhi syarat SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2)).

3. Baja Tulangan Yang Disambung Diameter 19 mm

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan D19 mm digunakan variasi jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang *clamp* s/d lima (5) pasang *clamp* dengan kekencangan baut sebesar 45 lbft atau setara dengan 58,725 Nm.

harus mencapai $125\% \times 471,46$ MPa, sedangkan kuat tarik maksimum (f_u) didapat sebesar 530,66 MPa, untuk mencapai kuat tarik minimal 125% dibutuhkan f_u sebesar 589,325 MPa. Namun sambungan ini masih tetap bias digunakan apabila memenuhi persyaratan yang disyaratkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.15(4).

jumlah *clamp* mulai dari satu (1) pasang clamp s/d empat (4) pasang *clamp* dengan kekencangan baut sebesar 35 lbft atau setara dengan 45.675 Nm.

sama sebesar 25 lb-ft (32,625 Nm), untuk D16 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 4 *clamp* dengan kekencangan baut yang sama sebesar 35 lb-ft (45,675 Nm), dan untuk D19 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 5 *clamp* dengan kekencangan baut yang sama sebesar 45 lb-ft (58,725 Nm). dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan signifikan sesuai dengan jumlah *clamp* yang dipasang.

- b. Dari berbagai variasi jumlah *clamp* yang di uji besar peningkatan setiap variasi jumlah clamp rata-rata untuk D13 mm sebesar 2,67 ton dengan kekencangan baut 25 lb-ft (32,625 Nm), untuk D16 mm sebesar 3,14 ton dengan kekencangan baut 35 lb-ft (45,675 Nm), untuk D19 mm sebesar 2,75 ton dengan kekencangan baut 45 lb-ft (58,725 Nm). Jadi dapat disimpulkan untuk setiap sambungan jika jumlah connector (*clamp*) semakin banyak maka akan semakin tinggi kuat tariknya dan kegagalan di tulangan akan semakin mungkin.
- c. Dalam penelitian ini hasil uji kuat tarik sambungan *clamp* yang didapat paling besar yaitu, untuk D13 mm sebesar 545,41 MPa menggunakan 3 *clamp*, untuk D16 mm sebesar 571, 34 MPa dengan menggunakan 4 *clamp*, untuk D19 mm sebesar 478,08 MPa dengan menggunakan 5 *clamp*. Dari hasil penelitian yang dilakukan semua diameter

VII. KESIMPULAN

- Kesimpulan
 - a. Dari berbagai parameter yang di uji yaitu D13 mm menggunakan 1 *clamp* hingga 3 *clamp* dengan kekencangan baut yang

tulangan dengan menggunakan variasi *clamp* untuk D13 mm sebanyak 3 *clamp*, untuk D16 mm sebanyak 4 *clamp*, untuk D19 mm sebanyak 5 *clamp*, sudah mengalami leleh pada tulangan yang disambung hal ini diketahui dengan melihat bentuk grafik yang dihasilkan dan dengan bahan perbandingan antara hasil uji kuat tarik yang disambung menggunakan *clamp* dengan hasil uji kuat tarik tulangan yang masih utuh.

Namun hasil penelitian yang dilakukan untuk D13 mm dengan menggunakan 3 pasang *clamp* masih belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)), tetapi akan tetap bisa digunakan jika memenuhi persyaratan SNI-03-2847-2002 pasal 14.15.(4). Untuk D16 mm dengan menggunakan 4 pasang *clamp* dianggap sudah memenuhi syarat SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)). Dan untuk D19 mm belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(2),(4)).

• **Saran**

Pada penelitian ini, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan agar kemungkinan tersebut dapat diperbaiki dikemudian hari antara lain:

- Bentuk dari *connector* (*clamp*) akan sangat menentukan hasil dari penelitian sehingga desain awal, pembuatan dan bentuk *connector* harus mendapatkan perhatian disetiap tahapannya.
- Agar mendapatkan perilaku dan hasil yang memiliki tingkat validitas tinggi maka perlu difikirkan untuk menambah variasi dan pengulangan specimen.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan *specimen* sambungan sebaik mungkin dan seekonims mungkin.

VIII. **DAFTAR PUSTAKA**

- Standar Nasional Indonesia. SNI 07-2529-1991. Metode Pengujian Tarik Baja. Badan Standardisasi Nasional.
- ASTM, Designation: E 8M-04. *Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Material: american system*
- Standar Nasional Indonesia. SNI 07-2052-2002. Baja Tulangan Beton. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. *SNI 03 – 2847 - 2002*. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. *SNI 03-6814-2002*. Tata Cara Pelaksanaan Sambungan Mekanis Untuk Tulangan Beton. Badan Standardisasi Nasional.
- *ACI 439.3R-91*. Mechanical Connections of Reinforcing Bars. (Reapproved 1999) reported by *ACI* Committee 439. John F. McDermott, Chairman.
- Metode Pengujian Tarik Baja, Badan Standar Nasional. SNI 07-2529-1991.
- Andarias R. Sirampun, Pemeriksaan mutu dan ukuran baja tulangan dipasaran kota Palu. Media Litbang Sulteng 2 (2): 146-152, Desember 2009.
- Sastranegara, Azhari. ***Mengenal Uji Tarik dan Sifat - sifat Mekanik Logam.*** <http://www.engineerfocus.com/wpcontent/uploads/2010/01/Mengenalujitarik.pdf>
- Azhari Sastranegara, Mengenal Uji tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam, Situs Informasi Mekanika, Material, dan manufaktur, 8 september 2009.

USULAN *CLAMP* SEBAGAI SAMBUNGAN MEKANIS TULANGAN BAJA TARIK

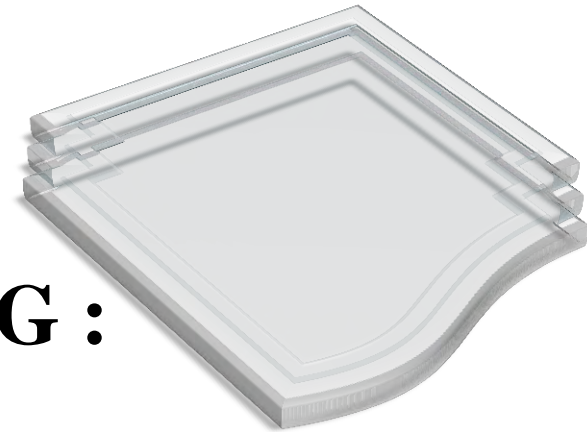
DI SUSUN OLEH :

JOI FIKTORI GINTING

DOSEN PEMBINGBING :

1. Prof. Tavio, ST.MT.Ph.D

2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS



LATAR BELAKANG

- Sambungan dalam sebuah konstruksi tidak dapat dihindari, keterbatasan ukuran panjang dari produksi baja tulangan memaksa suatu elemen struktur harus dilakukan penyambungan.



- Sambungan merupakan bagian struktur yang paling penting dalam mentransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi antara komponen-komponen yang disambung. Penempatan dan kekuatan sambungan perlu direncanakan dengan baik sehingga kehadirannya tidak menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur.
- Sambungan memegang peranan yang penting terhadap kekuatan dan integritas dari suatu elemen struktur, kegagalan suatu struktur diharapkan tidak terjadi pada sambungannya, sehingga diperlukan detail sambungan yang baik.



Kegagalan struktur akibat kesalahan desain seperti sambungan lewatan tulangan (*lap splice*) pada kolom yang dipasang tidak jauh di atas lantai atau pondasi akan mengalami keruntuhan seperti pada Gambar dimana pada dasar kolom adalah daerah yang dibolehkan terjadi sendi plastis. Seharusnya, sambungan lewatan pada kolom hanya dibolehkan di tengah kolom dan harus dipasang dengan tulangan sengkang tertutup (*hoops*), dengan kait 135°, yang masing-masing jaraknya cukup rapat dengan detail.

- Sering kali proses penyambungan tulangan, kebutuhan panjang penyambungan, konfigurasi dan akurasi menjadi permasalahan pada pelaksanaannya.

PERUMUSAN MASALAH

■ Permasalahan Utama :

Sambungan dalam sebuah konstruksi tidak dapat dihindari, keterbatasan ukuran panjang dari produksi baja tulangan memaksa suatu elemen struktur harus dilakukan penyambungan. Sambungan harus mempunyai kekuatan yang dapat menjamin integritas dari suatu elemen struktur.



■ Permasalahan khusus

1. Didasari dari hal tersebut diatas akan dilakukan penelitian tentang jenis sambungan kombinasi antara sambungan lewatan dan sambungan mekanis, Penelitian meninjau aspek teknis yaitu dari segi kekuatan terhadap beban tarik, selain itu juga ditinjau dari kemudahan didalam pembuatan dan pelaksanaannya.
2. Dengan sistem sambungan kombinasi ini, sambungan mekanis diharapkan dapat membantu pekerjaan penyambungan dilapangan semakin mudah dalam pelaksanaannya.

TUJUAN PENELITIAN

- Mengembangkan *clamp* sebagai sambungan mekanis pada struktur beton bertulang.
- Mengetahui kuat tarik dan modulus elastisitas baja tulangan dengan menggunakan sambungan *clamp*.

BATASAN MASALAH

- Parameter baja tulangan yang disambung digunakan mutu dan diameter yang sama D13, D16, dan D19 dengan tegangan leleh baja tulangan ($f_y = 400\text{MPa}$).
- Bahan penyambung (*clamp*) digunakan mutu dengan tegangan leleh baja ($f_y = 400\text{MPa}$).



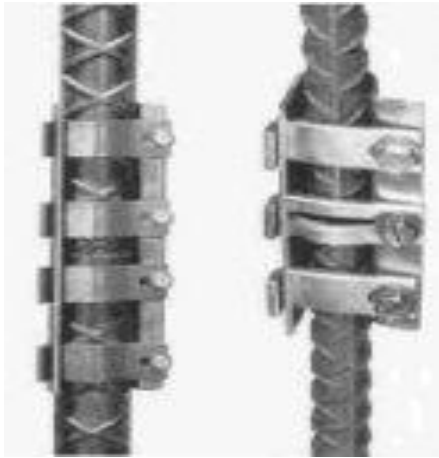
- Bahan penyambung (baut) digunakan mutu dengan tegangan tarik putus ($f_u = 825\text{ MPa}$).

Sambungan Mekanis

(Mechanical Connection)

- Berbagai sambungan mekanis pada saat ini telah cukup banyak tersedia, baik fitur fisik, karakteristik mekanik dan prosedur instalasinya. Sambungan mekanis pada tulangan prinsipnya terdiri dari sambungan melalui mekanisme ujung-ujung (*in line mechanical*) dan sambungan melalui mekanisme lewatan (*off set mechanical*).
- ACI 439.3R-91 memberikan gambaran tentang sambungan mekanis dari produsen pembuatnya. Sambungan mekanis (*mechanical connections*) terbagi dalam 3 kategori dasar yaitu:
 1. Sambungan Mekanis Tegangan Tekan (*Compression only Mechanical Connections*).
 2. Sambungan Mekanis Tegangan Tarik (*Tension only Mechanical Connections*)
 3. Gabungan dari Tegangan Tarik-Tekan (*Tension Compression Mechanical Connections*).

BEBERAPA CONTOH SAMBUNGAN MEKANIS DARI PRODUSEN ACI



Sambungan Mekanis
Tegangan Tekan



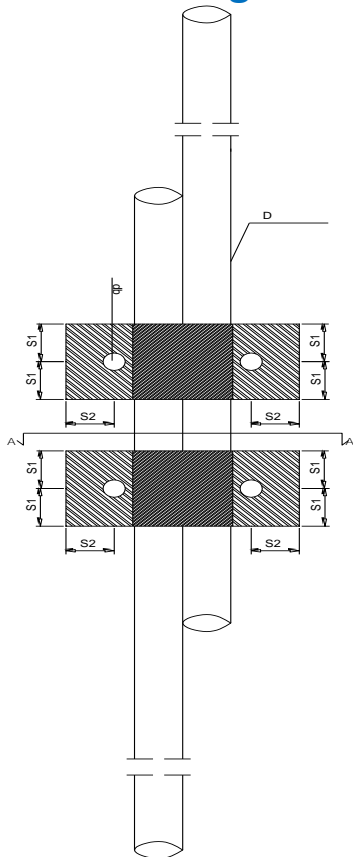
Sambungan Mekanis
Tegangan Tarik



Gabungan dari Tegangan
Tarik-Tekan

Rencana Sambungan Dengan menggunakan bahan *clamp*

- Sambungan mekanis yang ingin di uji dalam penelitian ini dengan menggunakan *clamp*. Ukuran panjang *clamp* yang ingin digunakan antara lain adalah 3 cm untuk tulanga D13 dan D16, sedangkan untuk D19 digunakan panjang clamp 3 cm dengan tebal 4 mm.



NO	D. TUL	Panjang clamp (L)	tebal clamp (tp)	kuat leleh clamp (fy)	kuat leleh tul (fy)	D. baut (db)	t	t1	Jarak baut (mm)	
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	mm	mm	mm	s1	s2
1	13	30	5	400	400	8	2.6	5.2	15	15
2	16	30	5	400	400	10	3.2	6.4	15	20
3	19	40	5	400	400	12	3.8	7.6	20	25

catatan:

- Nilai t diasumsikan 20% dari diameter baja tulangan yang akan disambung
- spasi antar *clamp* diasumsikan 5 cm

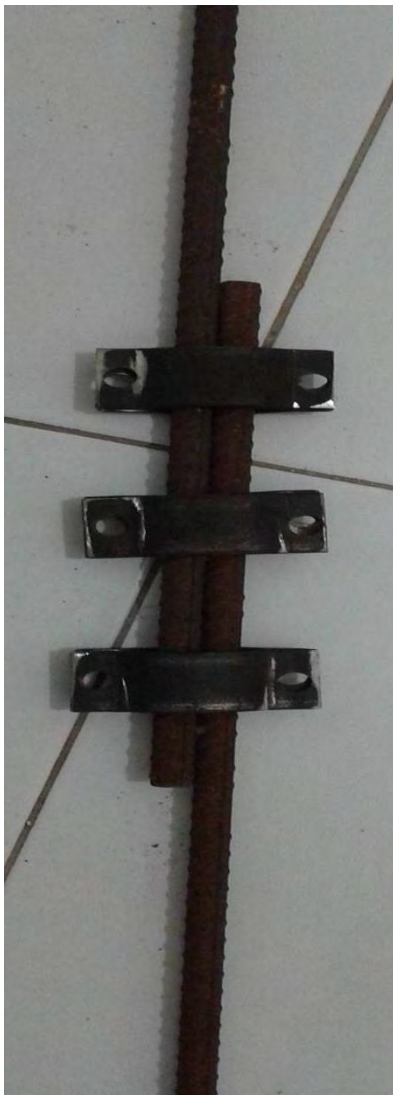
VARIASI PENELITIAN



Menggunakan 1 pasang
clamp



Menggunakan 2 pasang
clamp



Menggunakan 3 pasang
clamp



Menggunakan 4 pasang
clamp

Material Penelitian

- Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - Bahan yang digunakan adalah pelat baja yang di bentuk menjadi *clamp*
 - Ketebalan pelat 5 mm dengan mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$
 - Besi tulangan ulir D13, D16, dan D19 dengan $f_y = 400 \text{ Mpa}$
 - Baut dengan $f_u = 825 \text{ Mpa}$

Pelaksanaan Penelitian

- Pelaksanaan penelitian yang meliputi antara lain ialah :
 - Persiapan Bahan
 - Pelat baja yang dibentuk menjadi *clamp*
 - Baut dan Mur
 - Besi tulangan
 - Persiapan alat
 - Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).
 - Alat pengencang baut (*torque wrench*)



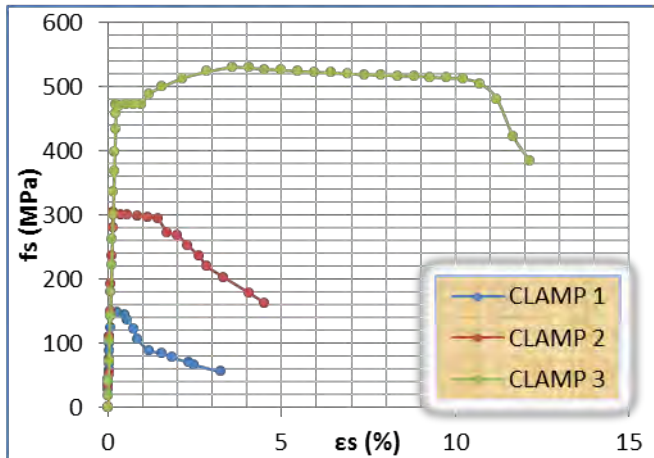
Pengujian Kuat Tarik

- Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.
- Pengujian tarik ini merupakan salah satu pengujian yang penting untuk dilakukan, karena dengan pengujian ini dapat mengetahui informasi mengenai sifat-sifat baja yang disambung maupun yang masih utuh.

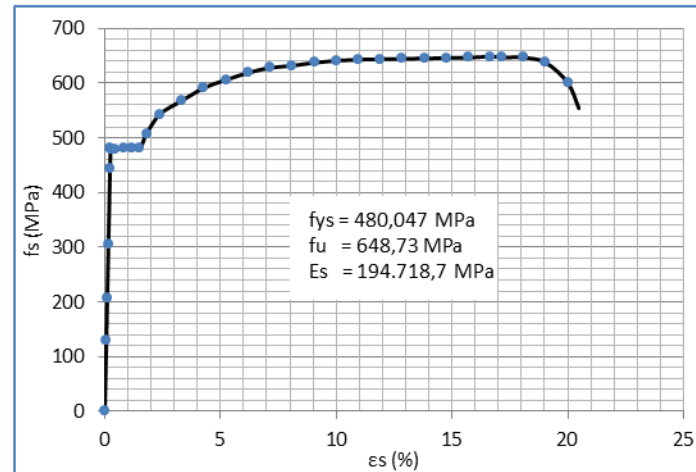


Hasil Penelitian Dan Pembahasan

1. TULANGAN BAJA D13 mm



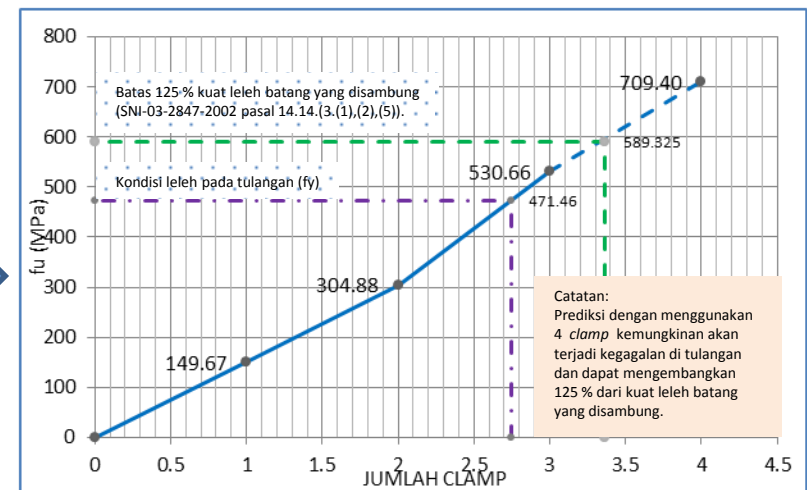
Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp*



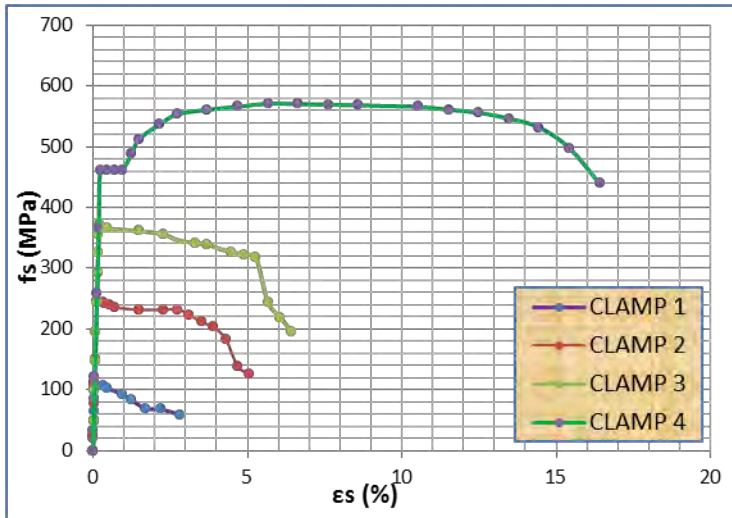
Hubungan Tegangan VS egangan Tulangan Baja D13 mm



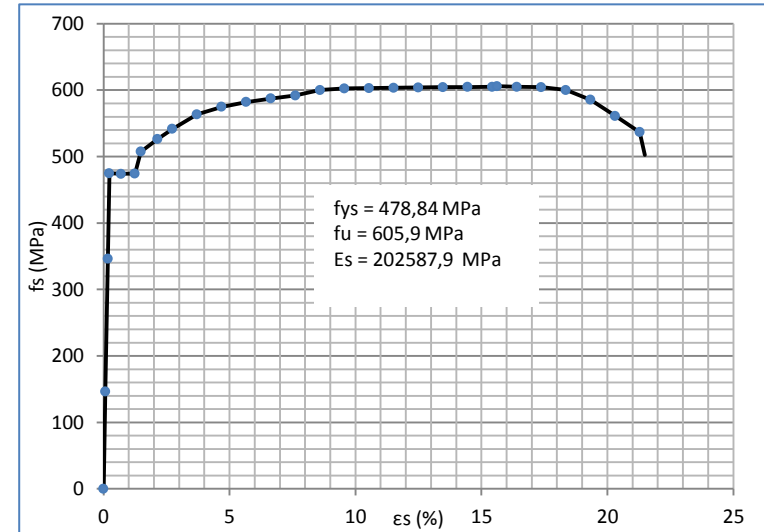
Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*



2. TULANGAN BAJA D16 mm



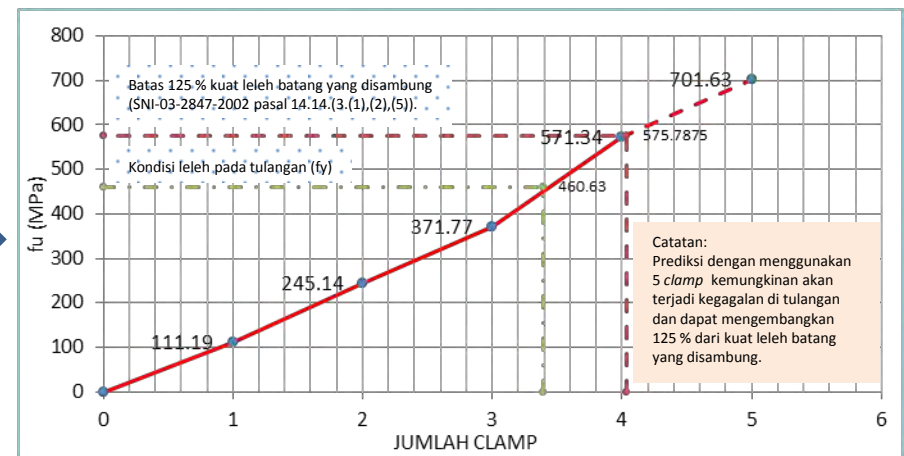
Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp*



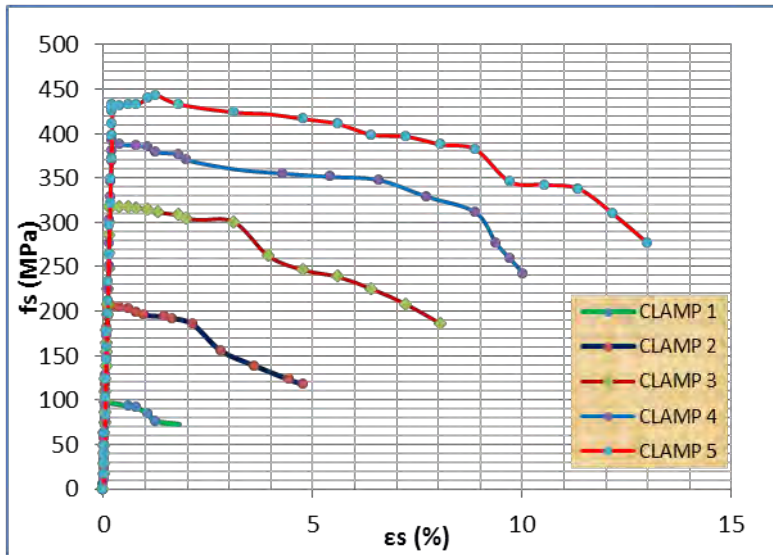
Hubungan Tegangan VS egangan Tulangan Baja D16 mm



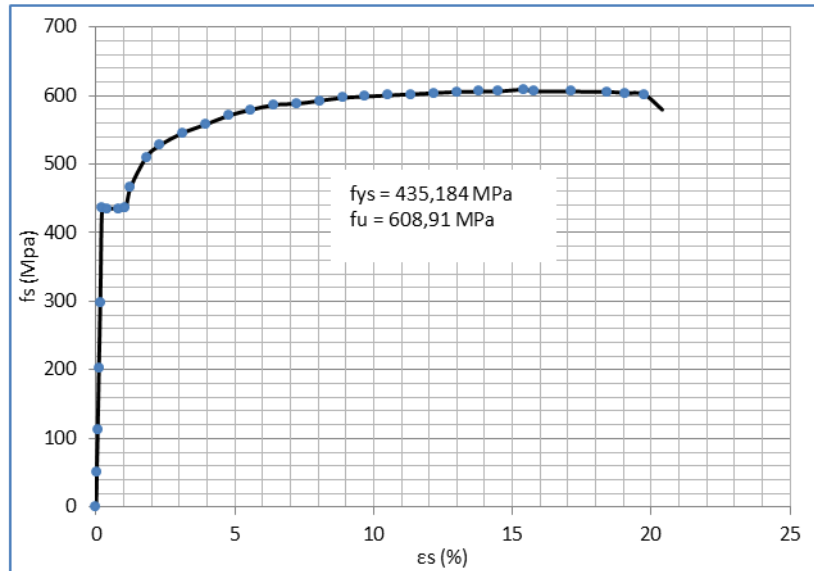
Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*



3. TULANGAN BAJA D19 mm



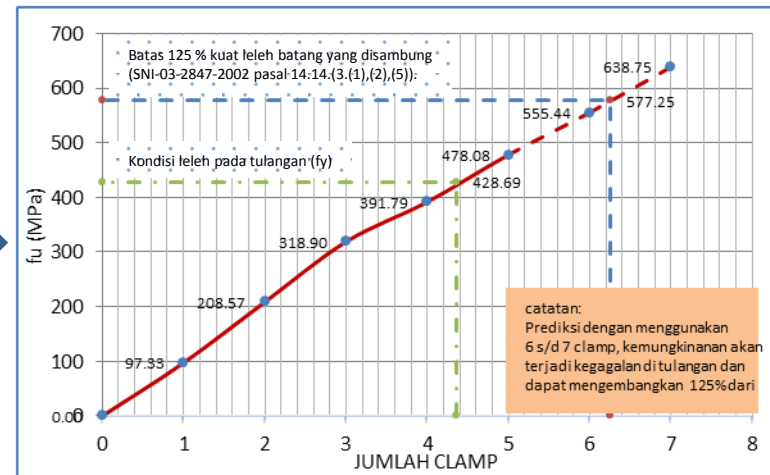
Hubungan tegangan vs regangan berdasarkan jumlah *clamp*



Hubungan Tegangan VS egangan Tulangan Baja D19 mm



Hubungan tegangan maksimum dengan jumlah *clamp*



KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan signifikan sesuai dengan jumlah *clamp* yang dipasang.
- Dari hasil penelitian yang dilakukan semua diameter tulang dengan menggunakan variasi *clamp* untuk D13 mm sebanyak 3 *clamp*, untuk D16 mm sebanyak 4 *clamp*, untuk D19 mm sebanyak 5 *clamp*, sudah mengalami leleh pada tulang yang disambung hal ini diketahui dengan bahan perbandingan antara hasil uji kuat tarik yang disambung menggunakan *clamp* dengan hasil uji kuat tarik tulang yang masih utuh.
- Namun hasil penelitian yang dilakukan untuk D13 mm masih belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2)). Dimana kuat tarik yang harus dicapai minimal sebesar 125% dari kuat leleh tulang yang disambung, namun akan tetap bisa digunakan jika jumlah tulang yang disambung memenuhi persyaratan SNI-03-2847-2002 pasal 14.15.(4), Sedangkan Untuk D16 mm sudah memenuhi persyaratan 125% dari kuat leleh tulang dimana kuat tarik yang diperoleh sebesar 571,34 Mpa. Dan untuk D19 mm meskipun sudah mencapai keadaan leleh pada tulang yang disambung namun masih belum memenuhi syarat sambungan mekanis berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.14.(3.(1),(2)).

Saran

- Bentuk dari *connector (clamp)* akan sangat menentukan hasil dari penelitian sehingga desain awal, pembuatan dan bentuk *connector* harus mendapatkan perhatian disetiap tahapannya.
- Agar mendapatkan perilaku dan hasil yang memiliki tingkat validitas tinggi maka perlu difikirkan untuk menambah variasi dan pengulangan specimen.
- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan *specimen* sambungan sebaik mungkin dan seekonims mungkin.

SEKIAN DAN TERIMAKASIH

DAFTAR PUSTAKA

Standar Nasional Indonesia. SNI 07-2529-1991. Metode Pengujian Tarik Baja. Badan Standardisasi Nasional.

ASTM, Designation: E 8M-04. *Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Material: american sysstem*

Standar Nasional Indonesia. SNI 07-2052-2002. Baja Tulangan Beton. Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. SNI 03 – 2847 - 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. SNI 03-6814-2002. Tata Cara Pelaksanaan Sambungan Mekanis Untuk Tulangan Beton. Badan Standardisasi Nasional.

ACI 439.3R-91. Mechanical Connections of Reinforcing Bars. (Reapproved 1999) reported by *ACI* Committee 439. John F. McDermott, Chairman.

Metode Pengujian Tarik Baja, Badan Standar Nasional. SNI 07-2529-1991.

Andarias R. Sirampun, Pemeriksaan mutu dan ukuran baja tulangan dipasaran kota Palu. Media Litbang Sulteng 2 (2): 146-152, Desember 2009.

Sastranegara, Azhari. ***Mengenal Uji Tarik dan Sifat - sifat Mekanik Logam.***

<http://www.engineerfocus.com/wpcontent/uploads/2010/01/Mengenalujitarik.pdf>

Azhari Sastranegara, Mengenal Uji tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam, Situs Informasi Mekanika, Material, dan manufaktur, 8 september 2009.

Lampiran 4 : BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di SUMUT, 19 September 1988, merupakan anak ke-4 dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN AJIBUHARA KAB.KARO, SMPN SWASTA MASEHI Berastagi dan SMKN 1 Berastagi. Setelah lulus dari SMKN tahun 2008, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan D3 Teknik sipil UGM pada tahun 2008 dan setelah lulus dari D3 tahun 2011, Pada tahun 2012 penulis masuk ekstensi S1 ITS jurusan Teknik Sipil dengan NRP 31106022

Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Struktur. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMTS).